

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

PROYECTO FIN DE CARRERA



Simulación del consumo energético de climatización de una vivienda

Departamento de ingeniería térmica y de
fluidos

Autor: Juan Fernández Pérez
Director: Antonio Soria Verdugo

OCTUBRE DE 2011

AGRADECIMIENTOS.

A mi familia, que ha sido mi principal apoyo durante estos años, y a mis amigos, en especial a los que conocí en la universidad y que tantos ratos buenos hemos pasado.

RESUMEN.

El proyecto que se desarrolla a continuación, tiene como objetivo principal el cálculo del espesor óptimo de aislante para una vivienda unifamiliar situada en la localidad de Sevilla la Nueva, en la Comunidad de Madrid.

Para ello, lo primero que se llevará a cabo es el cálculo de la carga térmica del edificio con las características constructivas que se han obtenido de los planos del mismo. Con estos datos y utilizando las ecuaciones básicas de transferencia de calor para conducción, convección y radiación, y simplificando el cálculo haciendo uso del método del circuito térmico equivalente se podrán obtener las distintas pérdidas de calor en cada elemento de la vivienda. Se hará una diferenciación entre periodo de calefacción, los meses más fríos del año, y periodo de refrigeración, los meses más calurosos del año.

En el periodo de calefacción las pérdidas de calor que se han estudiado han sido la carga térmica de transmisión por las distintas paredes de la vivienda: suelo, techo, muro, ventanas y puertas. Por otro lado se ha estudiado la carga térmica debida a la ventilación y a las infiltraciones. Con este estudio se ha obtenido la cantidad de calor que la casa pierde en el periodo de calefacción y se ha podido calcular con ello su consumo energético, dimensionado para una caldera de gas de 14 kW, las emisiones contaminantes de CO₂ asociadas a ese consumo, y el coste anual de la calefacción de la vivienda.

En el periodo de refrigeración se han estudiado las cargas térmicas por transmisión en las mismas superficies que en el periodo anterior: ventilación e infiltraciones y transmisión, exceptuando en esta última el caso del suelo que representa una ganancia, ya que está a menor temperatura el interior de la vivienda. Además se han estudiado otras cargas térmicas debidas al uso de la vivienda, denominada carga interna, que tiene en cuenta la ocupación de la vivienda, el alumbrado de la misma, los equipos que en ella se encuentran y por último la carga debida a la radiación. Con este estudio se ha calculado el consumo energético para un equipo seleccionado de refrigeración de 14,8 kW que funciona conectado a la red eléctrica, así como sus emisiones de CO₂ asociadas y su coste anual.

Por último se ha realizado un estudio para encontrar en esta vivienda cuál sería el espesor óptimo de aislante por distintos medios, de forma que se tenga en cuenta la inversión inicial en aislante y la pérdida de suelo por el aumento del espesor del mismo. En una aproximación sencilla se obtuvo un espesor de 3,45 cm de aislante, que no es posible, por no cumplir con el coeficiente de transferencia de calor mínimo exigido en el RITE. En un segundo cálculo, utilizando medidas económicas como el valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad para distintos escenarios económicos favorable, moderado y desfavorable se han obtenido diferentes valores del espesor óptimo que son por el mismo orden 3, 5 y 6 centímetros. Al ser más razonable el escenario moderado se utilizó para incluir el coste de las emisiones de CO₂ y con las mismas herramientas económicas añadiendo este coste se obtiene el óptimo en 5 centímetros.

La conclusión principal que se obtiene es que en un escenario moderado, con interés del 4% para el cálculo del valor actual neto e incluyendo la penalización por emisiones de CO₂, el espesor óptimo, que por otro lado era el de los datos constructivos iniciales es 5 cm.

ÍNDICE GENERAL.

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Objetivos.....	10
1.2. Situación energética actual	11
1.3. Justificación	16
2. TRANSFERENCIA DE CALOR.	17
2.1. Conducción	17
2.2. Convección.	18
2.3. Radiación.	19
2.4. Circuito térmico equivalente.	21
2.5. Coeficiente global de transferencia de calor.	22
2.6. Psicrometría.	30
3. CARGAS TÉRMICAS.....	31
3.1. Cargas térmicas en periodo de calefacción.	33
3.2. Carga térmica en el periodo de refrigeración.....	40
3.3. Carga térmica total a lo largo del año.	55
3.4. Carga térmica total anual en días tipo.....	56
4. ESTUDIO DEL ESPESOR ÓPTIMO DE AISLANTE.	60
4.1. Optimización del espesor de aislante. Método 1.	61
4.2. Optimización del espesor de aislante. Método 2.	62
4.3. Optimización del espesor de aislante. Reducción de emisiones contaminantes.	68
6. REFERENCIAS.....	74
7. BIBLIOGRAFÍA.....	76
8. ANEXOS.....	77
ANEXO I. PROPIEDADES DEL AIRE Y AGUA Y LOCALIZACIÓN DEL EDIFICIO.....	77
ANEXO II. PLANOS DE LA VIVIENDA.....	78
ANEXO III. EQUIPO DE CALEFACCIÓN	81
ANEXO IV. EQUIPO DE REFRIGERACIÓN	82

ÍNDICE DE FIGURAS.

- Figura 1. Evolución comparada del precio de la electricidad y de otros productos energéticos para usos domésticos en España. 13.
- Figura 2. Evolución de las emisiones de CO₂ equivalente en España. Comparación con compromiso de Kyoto. 14.
- Figura 3. Fenómeno de conducción a través de un sólido o fluido estacionario. 17.
- Figura 4. Convección de una superficie a un fluido en movimiento. 17.
- Figura 5. Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad ϵ , absorptividad α y temperatura T. 19.
- Figura 6. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en m²K/W. 21.
- Figura 7. Circuito térmico equivalente correspondiente al muro de la vivienda. 21.
- Figura 8. Muro en contacto con el terreno. 23.
- Figura 9. Solera enterrada. 24.
- Figura 10. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior con flujo de calor ascendente. Valores en m²K/W. 25.
- Figura 11. Ejemplo de la vivienda del estudio y las posiciones de los espacios habitables, no habitables y el aislante térmico. 26.
- Figura 12. Fragmento de la tabla que interesa en el caso de estudio para el cálculo del coeficiente de reducción b para techos. 27.
- Figura 13. Cuadro de zonas climáticas y cambio de zona dependiendo de la altitud. 28.
- Figura 14. Valores límite de los parámetros característicos medios. 29.
- Figura 15. Diagrama psicrométrico. 30.
- Figura 16. Caudales de ventilación mínimos exigidos. 36.
- Figura 17. Declinación para cada día del año. 46.
- Figura 18. Evolución del ángulo horario. 46.
- Figura 19. Correlación de Orgill y Hollands (1977). 49.
- Figura 20. Correlación para la orientación sur. 48.
- Figura 21. Correlación para la orientación Este. 49.
- Figura 22. Correlación para la orientación Oeste. 49.
- Figura 23. Factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo. 50.

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

- Gráfico 1. Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año. 31.
- Gráfico 2. Humedad relativa en tanto por cien cada hora del año. 31.
- Gráfico 3. Carga térmica de transmisión en el muro en periodo de calefacción. 33.
- Gráfico 4. Carga térmica de transmisión en el techo en periodo de calefacción. 33.
- Gráfico 5. Carga térmica de transmisión en las ventanas en periodo de calefacción. 34.
- Gráfico 6. Carga térmica de transmisión en las puertas en periodo de calefacción. 34.
- Gráfico 7. Carga térmica total de transmisión en periodo de calefacción. 35.
- Gráfico 8. Carga térmica total de ventilación en periodo de calefacción. 37.
- Gráfico 9. Carga térmica por infiltraciones en periodo de calefacción. 38.
- Gráfico 10. Carga térmica total en periodo de calefacción. 38.
- Gráfico 11. Carga térmica de transmisión en el muro en periodo de refrigeración. 39.
- Gráfico 12. Carga térmica de transmisión en el techo en periodo de refrigeración. 40.
- Gráfico 13. Carga térmica de transmisión en puertas en el periodo de refrigeración. 40.
- Gráfico 14. Carga térmica de transmisión en las ventanas en el periodo de refrigeración. 41.
- Gráfico 15. Carga térmica de transmisión en el periodo de refrigeración. 41.
- Gráfico 16. Carga térmica de ventilación en el periodo de refrigeración. 42.
- Gráfico 17. Comparación en aporte de calor latente y calor sensible. 42.
- Gráfico 18. Carga térmica debida a las infiltraciones en el periodo de refrigeración. 43.
- Gráfico 19. Carga térmica debida al uso de la vivienda. Carga interna. 45.
- Gráfico 20. Irradiación global cada día del año. 47.
- Gráfico 21. Evolución horaria de la carga térmica en la orientación Oeste para el año y para un día. 51.
- Gráfico 22. Evolución horaria de la carga térmica en la orientación Este para el año y para un día. 51.
- Gráfico 23. Evolución horaria de la carga térmica en la orientación Norte para el año y para un día. 51.
- Gráfico 24. Evolución horaria de la carga térmica en la orientación Sur para el año y para un día. 52.
- Gráfico 25. Carga térmica de radiación en el periodo de refrigeración. 52.
- Gráfico 26. Carga térmica total en periodo de refrigeración. 53.
- Gráfico 27. Diferencia de temperaturas exterior y sol aire a lo largo del año. 54.
- Gráfico 28. Carga térmica total anual de la vivienda. 54.
- Gráfico 29. Carga térmica debida a radiación el 27 de Diciembre. 55.
- Gráfico 30. Evolución de la carga térmica el día 27 de Diciembre. 56.
- Gráfico 31. Carga térmica debida a radiación el 12 de Abril. 56.
- Gráfico 32. Evolución de la carga térmica el 12 de Abril. 57.
- Gráfico 33. Carga térmica debida a radiación el 27 de Julio. 57.
- Gráfico 34. Evolución de la carga térmica el 27 de Julio. 58.
- Gráfico 35. Carga térmica debida a radiación el 2 de Octubre. 58.
- Gráfico 36. Evolución de la carga térmica el día 2 de Octubre. 59.
- Gráfico 37. Optimización del espesor de aislante. Método 1. 60.
- Gráfico 38. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico desfavorable. 62.
- Gráfico 39. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años. 63.
- Gráfico 40. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico moderado. 64.
- Gráfico 41. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años en un escenario económico moderado. 65.

- Gráfico 42. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico favorable. 66.
- Gráfico 43. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años en un escenario económico favorable. 66.
- Gráfico 44. Evolución del valor actual neto para recuperar la inversión en los 50 años estimados. 67.
- Gráfico 45. Evolución del precio de la tonelada de CO₂ durante el año 2011. 67.
- Gráfico 46. Evolución del coste de la emisión de CO₂ según el espesor de aislante instalado. 68.
- Gráfico 47. Espesor óptimo en función del interés. 72.

ÍNDICE DE TABLAS.

- Tabla 1. Listado de materiales con sus espesores y conductividad térmicas del muro que envuelve la vivienda. 22.
- Tabla 2. Coeficiente de transferencia de calor en muros enterrados medido en W/m^2K . El cálculo se realiza en función de la profundidad del muro enterrado y la resistencia térmica del muro. 23.
- Tabla 3. Listado de materiales con sus espesores y conductividad térmica del suelo de la vivienda. 24.
- Tabla 4. Transmitancia térmica en suelos. Fragmento que muestra el rango en el que se encuentra la vivienda del proyecto. 25.
- Tabla 5. Datos constructivos de los materiales del techo con sus respectivas propiedades. 25.
- Tabla 6. Comparación de los valores calculados y los valores límite. 29.
- Tabla 7. Áreas de los distintos elementos constructivos de la vivienda susceptibles de transferencia de calor. 29.
- Tabla 8. Caudales mínimos en cada estancia de la casa. 36.
- Tabla 9. Factor de uso y potencia de los distintos aparatos. 44.
- Tabla 10. Características de los diferentes tipos de ventanas. 50.
- Tabla 11. Valor actual neto y tasa interna de rentabilidad según el espesor para un escenario económico desfavorable. 62.
- Tabla 12. Valor actual neto y tasa de rentabilidad interna para los distintos espesores de aislante en un escenario moderado. 64.
- Tabla 13. Valor actual neto y tasa de rentabilidad interna para los distintos espesores de aislante en un escenario favorable. 65.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. *Objetivos*

Como mera introducción se dirá que la motivación del proyecto es el estudio de la climatización de las viviendas, de forma que con los altos precios que se llevan manteniendo de los combustibles fósiles y el aumento permanente de los contaminantes en la atmósfera, se pueda conseguir tanto un ahorro económico como un bienestar medioambiental, con la importancia que tendría de forma económica para el usuario de la calefacción como para la sociedad en general tiene importancia la sostenibilidad medioambiental.

Para ello se estudiará como fin principal el espesor óptimo de aislante para mantener la vivienda dentro de unos límites de consumo y contaminación lo más razonablemente posibles. Para ello será indispensable calcular la carga térmica del edificio, la energía consumida por el mismo y realizar un análisis económico para ver la solución más factible.

Para la realización del proyecto se han usado dos programas distintos para realizar los cálculos. El primero, y más ingenieril, Mathcad un programa algebraico de computadora distribuido por PTC que, organizado como una hoja de trabajo, las ecuaciones y expresiones se muestran gráficamente. El segundo programa informático utilizado, sobre todo para los cálculos económicos del proyecto ha sido Microsoft Excel 2010, un programa de hojas de cálculo distribuido y desarrollado por Microsoft.

Un esquema de la memoria que se presenta a continuación será la situación actual de las energías en general y el consumo doméstico en particular y su influencia medioambiental, posteriormente se hará una breve explicación de las herramientas físicas y matemáticas que se han utilizado para el cálculo de cargas térmicas en la vivienda procediendo posteriormente con dicho cálculo del que se obtendrá el consumo anual de energía en la vivienda debido a la climatización de la misma. El último paso será la búsqueda del espesor óptimo de aislante por medios físicos, económicos y de respeto al medioambiente.

El objetivo del proyecto es la determinación del espesor óptimo de aislante térmico para reducir el coste de la climatización en una vivienda unifamiliar situada en la localidad de Sevilla la nueva, en la Comunidad de Madrid. Para llevar a cabo esta tarea será necesario calcular las cargas térmicas correspondientes, tanto en verano como en invierno, de la vivienda unifamiliar de forma que se pueda obtener la suma de las cargas térmicas anuales totales y con ello, una vez conocida la demanda de la casa en términos energéticos de la climatización, calcular el coste asociado a ello, obteniendo ese espesor óptimo de aislante que se busca por distintos medios, y decidiendo cuál es la solución que más y mejor se ajusta a la realidad constructiva.

1.2. *Situación energética actual.*

1.2.1. *Energía primaria y final.*

Aunque en 2010, y debido a la crisis económica vivida en este año, el producto interior bruto ha presentado un crecimiento negativo, el sector energético en general ha mostrado dígitos positivos en contraste con lo ocurrido en años anteriores. Aún así, la cifra de consumo de energía no ha variado mucho, siendo el consumo similar al de 2006. El sector residencial, que es en el que se centra el estudio, ha incrementado su cifra en un 0,7% en este último año.

Hay que resaltar, que en España el pasado año, aproximadamente un 54% de la producción eléctrica se consiguió con tecnologías bajas en carbono: nuclear, hidráulica y renovables, consiguiendo un descenso de emisiones del parque de generación del 21% respecto a 2009, aunque cumplir los compromisos de Kyoto todavía es una tarea difícil.

Para desglosar el consumo de energía primaria se puede hacer una diferenciación por las diversas fuentes de energía. De esta manera y con datos de 2010 el petróleo será la energía primaria más consumida en España (49,3%), seguida del gas (24,5%), la tercera en uso sería la energía nuclear (12,7%), tras esta el carbón (7,8%) y la energía de menor uso sería la hidráulica, solar y eólica (6,3%). También se deben tener en cuenta los intercambios internacionales de energía eléctrica, que en 2010 fue una exportación del 0,6% del total de la energía primaria consumida, que asciende a 126755 ktep, representando un aumento del 0,6% respecto a 2009.

Para diferenciar el sector que se va a tratar a lo largo del proyecto, el sector residencial, también interesa ver los consumos de energía final por sectores. La estructura en porcentajes de consumo sería que la industria acapara el 33,31% de la energía final consumida, el transporte el 39,63% y el sector residencial y servicios el 27,06% siendo el total de los usos energéticos 90385 ktep. Para el caso del sector residencial y servicios en 2010 el consumo de energía final es de 28258 ktep y según el Plan de Acción de Energías Renovables de España (PANER) aumentará en 2020 hasta 33312 ktep.

Otro factor importante para describir la situación energética de un país es ver el grado de autoabastecimiento, la producción interior de energía primaria, que con datos de 2010 según el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio tanto el petróleo como el gas, que son las dos fuentes primarias de energía con más consumo su producción interior es del 0,2% del total consumido, el carbón tiene una tasa del 37% y si se hace un promedio con todo el mix energético del país incluyendo las energías nuclear, hidráulica, solar, eólica, biomasa y servicios se obtiene que el grado de abastecimiento el país es del 26%, con lo que menos de un tercio de la energía primaria que se consume en España está producida en el propio país, por ello y aunque España se mantiene como el noveno país europeo productor de energía primaria es un país importador de energía. Por este motivo España es uno de los países de la UE cuyo grado de dependencia energética del exterior es de los más elevado, manteniéndose en séptima posición detrás de Portugal e Italia.

1.2.2. Electricidad.

Los aspectos más significativos del comportamiento del sistema eléctrico español en 2010 han sido la moderada recuperación de la demanda de energía eléctrica, la ruptura de la serie histórica de años secos que se inició en 2004 y el notable ascenso de la generación basada en energías renovables.

La demanda anual de energía eléctrica en España registró un incremento respecto al 2009 del 3,3%, lo que apunta hacia una cierta recuperación del consumo eléctrico tras la fuerte caída del 4,9% experimentada en el año anterior, 2009. Este crecimiento de la demanda es similar al 3,9% obtenido por el conjunto de países de la Unión Europea [2].

Del lado de la generación eléctrica, lo más destacable ha sido el notable ascenso de las energías renovables que, favorecidas por una elevada generación hidráulica y eólica, han cubierto más de un tercio de la demanda anual. Por otro lado también se puede destacar que el ámbito regulatorio en 2010 ha sido muy prolífico, con la aprobación de numerosas disposiciones relevantes para el funcionamiento del sector eléctrico.

Como se exponía anteriormente, la demanda eléctrica peninsular en 2010 ha roto la trayectoria de descenso iniciada a finales de 2008 llegándose a un 3,3% superior al año anterior. Descontando los efectos de la laboralidad y la temperatura, el crecimiento de demanda fue del 2,9%.

Respecto a la potencia del parque generador eléctrico peninsular cabe destacar el crecimiento del 4,7% debido a la instalación de 4482MW nuevos durante el año 2010. Este saldo corresponde a 12 nuevas centrales o aumentos de potencia (2 centrales hidráulicas y 10 centrales térmicas) y la baja del servicio en 4 centrales térmicas (Santurce 1,2 y Escombreras 4,5) [3]. Este aumento sitúa la capacidad del sistema en 99043 MW, de los que casi el 50% corresponden a fuentes de energía renovable [2]. Las energías renovables aumentaron casi en 2000 MW, de los cuales más de la mitad son de origen eólico, situando a este tipo de energía como segunda tecnología en capacidad instalada con una representación del 20% de la potencia total peninsular, precedida únicamente por el ciclo combinado. Las tecnologías solares también han aumentado sus capacidades de producción pero solo supone el 4% de la capacidad peninsular (4140 MW) [2].

Si diferenciamos el consumo por comunidades autónomas, y más en concreto en la Comunidad de Madrid, donde estará ubicada la edificación del proyecto se puede observar que tiene un consumo anual de 30528 GWh, con datos de 2009 y su consumo descendió un 4,2 % respecto 2008, siendo la segunda comunidad autónoma en consumo de energía eléctrica por detrás de Cataluña, la comunidad autónoma que más consume de España. Aunque en el año 2008 se consumiera más electricidad que en el año inmediatamente posterior, esa evolución de consumo no ha sido así durante este siglo. Los datos que muestran la evolución de la producción de energía eléctrica van en aumento desde 1940 hasta nuestros días, manteniéndose constante prácticamente desde el año 2006 en alrededor de 300000 millones de kWh consiguiendo el máximo en 2008, 317358 millones de kWh [3].

También puede resultar interesante ver la evolución de la potencia instalada por tipos de centrales en España. En España y con datos desde 1940 se puede ver una evolución en la potencia instalada siempre creciente llegando en 2010 a superar los 102000 MW. El dato que más destaca es la incursión de las energías renovables, especialmente la energía eólica desde el año 2000, ya que en 10 años se ha conseguido duplicar la potencia instalada en renovables y multiplicar por 10 la potencia instalada en eólica [3].

Otro dato importante para estudiar el sector eléctrico español es la evolución del precio que se duplicó prácticamente en el año 2005 y hasta 2008 no bajó de los 6,5 c€/kWh excepto en 2007, y que en los últimos años se ha mantenido alrededor de los 4,5 c€/kWh. Aún así, la electricidad para el consumo residencial es la energía más barata.

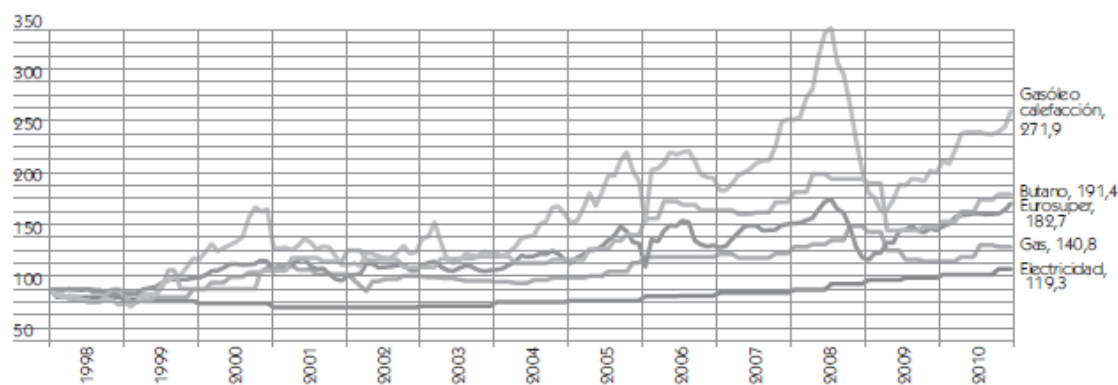


Figura 1. Evolución comparada del precio de la electricidad y de otros productos energéticos para usos domésticos en España. [3].

Por último mencionar las previsiones de producción eléctrica con las políticas actuales, que marcan una tendencia totalmente creciente que entre 2008 y 2035 sería un incremento anual del 2,4 %, duplicando prácticamente la producción en esos años. Teniendo en cuenta una política más ambiciosa, tanto en reducción de consumo como en respeto al medio ambiente para cumplir, o por lo menos intentarlo, los compromisos de Kyoto, denominada “Política 450” cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de CO₂ equivalente en la atmósfera de 450 ppm en volumen, restringiendo el calentamiento global con una posibilidad del 50 % a 2 grados centígrados de acuerdo al 4º informe de valoración del IPCC, este aumento anual durante el periodo 2008 – 2035 sería del 1,7 %. [3]

1.2.3. El sector residencial.

En el sector residencial ha disminuido desde 2006 el consumo de productos petrolíferos y especialmente el carbón, cuya demanda va disminuyendo progresivamente a favor de otros combustibles, como las energías renovables o el gas natural. En el caso de las energías renovables, cabe destacar la penetración que suponen en el sector residencial, llegando a alcanzar el 15% de la contribución de la demanda al mismo. La distribución del consumo energético por usos en 2009 muestra que el 48% está asociado a la calefacción de las viviendas, dato que contrasta con un dato cercano al 65% de la media europea, que nos da una idea de la diferencia climática con los países de nuestro entorno. Aún así, se ha aumentado este consumo de calefacción como consecuencia de la tendencia desde 2008 de la instalación de sistemas individuales de calefacción, en general menos eficientes que los colectivos. La siguiente contribución energética más importante en el sector residencial es el consumo de agua caliente sanitaria y cocina, que en España los datos muestran una mayor representatividad que la media europea. Por último y como tercer consumo importante en este sector cabe destacar la climatización, que a pesar de su escasa participación en el consumo energético, inferior al 2%, resulta muy problemático en nuestro país por el impacto que tiene en las puntas de demanda, especialmente en periodos estivales y que en zonas de turismo conlleva fallos en la red. Por ello actualmente se trabaja en una legislación más avanzada en edificación que permita atenuar la incidencia en la red de este consumo con arquitectura bioclimática, envolvente térmica, etc.

Por otra parte, con la última información disponible de 2009, si se compara el consumo energético por hogar corregido por el clima, de forma que este no incida directamente en los datos, se indica que España es de los menos intensivos energéticamente con

aproximadamente una tonelada equivalente de petróleo por hogar, alrededor de un 40% menos que un hogar medio europeo. También es cierto que en lo que a intensidad eléctrica se refiere, en nuestro país está por encima de la térmica y no por debajo de la media europea, debido a la evolución del equipamiento eléctrico de los hogares y su uso.

Por último cabe mencionar que se ha notado un efecto positivo por la mejora de la eficiencia de los edificios del sector residencial como resultado de la aplicación de medidas de eficiencia recogidas en el Plan de Acción 2008-2012, así como la nueva legislación relativa al sector de la edificación tanto en edificios nuevos como los rehabilitados.

1.2.4. Compromiso con el medio ambiente.

Un objetivo importante de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) es la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que no implique una interferencia peligrosa con el sistema climático y que permita un desarrollo sostenible. La energía es clave en el cambio climático, ya que representa el 80 % de las emisiones de CO₂ a la atmósfera a escala mundial. El protocolo de Kyoto, desarrollado dentro de la Convención Marco UNFCC tiene como objetivo reducir en un 5,2 % las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, con referencia a los niveles de 1990. Es el principal instrumento internacional para intentar frenar el cambio climático. Los países que firmaron el mismo, intentan poner medidas para llegar a su cumplimiento, pero en España que firmó un compromiso de reducción de emisiones no cumple con él. Aún así, España es el país de Europa que se acerca más al cumplimiento de los

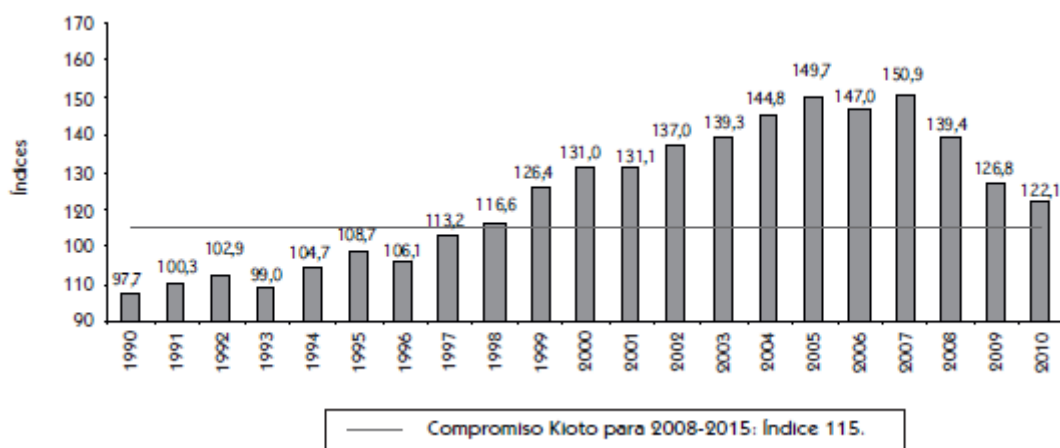


Figura 2. Evolución de las emisiones de CO₂ equivalente en España. Comparación con compromiso de Kyoto [3]

compromisos de Kyoto, siendo según el gobierno de Estados Unidos (EIA – US Government) el país en decimonoveno lugar como uno de los países más contaminantes por habitante.

Respecto al sector residencial y su influencia en el cambio climático según el IDAE en el punto de consumo la emisión del gas principal de efecto invernadero, el CO₂, es de 0,35 tCO₂/MWh, inferior al resto de emisiones. Para reducir estas emisiones del sector residencial, se estudia sobre todo en el diseño bioclimático de edificios, en los que teniendo en cuenta los datos geográficos y climáticos y de la edificación y el usuario, se hacen análisis y estrategias, recomendando un diseño que luego se evaluará térmicamente, uno de los puntos importantes de este proyecto, para conseguir un edificio totalmente integrado en su ubicación y con unos

consumos inferiores a los que serían habituales llegando a ahorros de cerca de 900kWh anuales por vivienda y se pueden dejar de emitir más de 0,6 tCO₂ al año por vivienda.[4]

1.3. Justificación.

Por todos los datos expuestos anteriormente tanto de consumo de energía como de contaminación atmosférica, interesa hacer un estudio previo a la construcción en el sector residencial para intentar minimizar estos dos factores. Con un análisis del consumo de energía en la climatización de la vivienda se pueden conseguir importantes ahorros energéticos y disminuciones en la contaminación durante la vida útil de los diversos componentes de la vivienda que se estudiarán a continuación.

El estudio de cargas térmicas de la vivienda hace que se pueda dimensionar de una forma efectiva tanto los equipos de calefacción y climatización como el aislante a emplear así como sus ubicaciones óptimas.

La determinación del espesor óptimo de aislante llevará consigo una importante reducción del gasto energético en invierno al mantener el calor dentro de la vivienda, de forma que el calor que se filtre por las paredes de la edificación sea el menor posible y de esa forma el consumo de combustible en la caldera disminuya, haciendo que en el global del consumo energético de la vivienda se dé un descenso importante, ya que como se decía anteriormente, en el sector residencial es muy importante controlar la calefacción, un porcentaje alto respecto al global de consumo energético de la vivienda. La climatización, por otro lado, aunque no sea tan importante en el global de la vivienda en consumo energético, tiene su importancia en el consumo eléctrico, ya que acarrea fallos en la red por su consumo puntual elevado en periodos estivales. Por ello es importante también añadir esto a un total de climatización y ver sumando ambos consumos energéticos cual es la solución óptima que suponga un ahorro energético para la vivienda.

Si se consiguiera una disminución palpable de consumo energético, tanto en verano como en invierno se contribuiría a un ahorro para la vivienda de energía, un menor consumo de combustibles fósiles en calefacción, disminución de emisiones contaminantes y una mayor regulación del sistema eléctrico español, que haría que la diferencia entre punta y valle de la curva de demanda fuera menor, y que además le afectaría en menos proporción la estacionalidad del sistema eléctrico, y más actualmente que las estaciones son más extremas y hay mayor diferencia de temperaturas entre verano e invierno.

Por ello es necesario hacer un estudio de cargas térmicas de la vivienda, determinando el espesor óptimo de aislante, y así conseguir la climatización óptima de los espacios habitables, consiguiendo la temperatura de confort óptima para los habitantes de la vivienda, teniendo en cuenta el consumo energético, y las emisiones contaminantes.

2. TRANSFERENCIA DE CALOR.

Una parte importante del proyecto que se ha desarrollado se centra en el estudio de la transferencia de calor. Estudiando la transferencia de calor se podrán obtener resultados como las pérdidas de calor por la pared o las ventanas de la casa, la influencia de la radiación solar, etc.

La transferencia de calor se define como “energía térmica en movimiento debido a una diferencia de temperaturas” [5]. Esta “energía en movimiento” surge a partir de un combustible que al quemarse se transforma en un tipo de energía que es capaz de calentar una vivienda entre otras muchas cosas. Para los procesos de ingeniería es muy importante entender los mecanismos físicos que llevan consigo los distintos modos de transferencia de calor y así poder usar unas ecuaciones que modelen los procesos de forma que se pueda cuantificar la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo. A continuación se van a estudiar los distintos modos de transferencia de calor.

2.1. Conducción.

Para explicar correctamente el término de conducción, hay que recurrir a conceptos como el de actividad molecular. Utilizando estos conceptos el fenómeno de conducción puede ser explicado como “transferencia de energía desde las partículas más energéticas a las menos energéticas de un material debido a interacciones entre las partículas” [5].

La explicación física de la conducción es fácil de explicar considerando un gas que ocupa un espacio entre dos superficies que se mantienen a diferentes temperaturas. La temperatura más alta hace que las partículas cercanas a esa superficie se empiecen a mover de una forma aleatoria, y al chocar con las más frías les transfiera este movimiento de traslación y rotación, de forma que consigan aumentar su energía, consiguiendo que se transfiera el calor desde la superficie caliente hasta la fría. A mayor temperatura se asocia una mayor energía molecular y cuando hay una colisión con una partícula vecina con menor energía hay una transferencia de energía de la partícula más energética a la de menos energía. Este fenómeno explicado en gases es el mismo en líquidos y en sólidos, la diferencia es que las moléculas están más cercanas entre ellas, con lo que la transferencia de calor conllevará menos pérdidas.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor, llegando a calcular la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo en conducción. Para el fenómeno de conducción se conoce como la Ley de Fourier, y la ecuación tiene la siguiente forma

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ec. 1})$$

Esta ecuación representa que el flujo de calor es el calor transferido en la dirección x por unidad de área perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El parámetro k es una propiedad de transporte del material conocido como la conductividad térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$). El símbolo menos representa que el calor se transfiere en la dirección de temperatura decreciente.

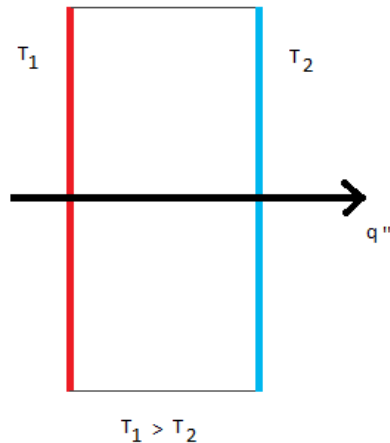


Figura 3. Fenómeno de conducción a través de un sólido o fluido estacionario.

La ecuación de la ley de Fourier da a conocer el flujo de calor, esto es el calor transferido por unidad de área, y sus unidades son Vatios por metro cuadrado.

2.2. Convección.

El fenómeno de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia por difusión molecular la energía se transfiere por un fenómeno macroscópico, o movimiento de un fluido. Este movimiento de fluido contribuye a la transferencia de calor en presencia de un gradiente térmico. Las moléculas están en un fluido que retiene la energía en sus moléculas y así este fenómeno es la suma de la convección y esta forma de retención de energía por parte del fluido. Es especialmente interesante la transferencia de calor existente entre un fluido en movimiento y una superficie cuando están a diferentes temperaturas.

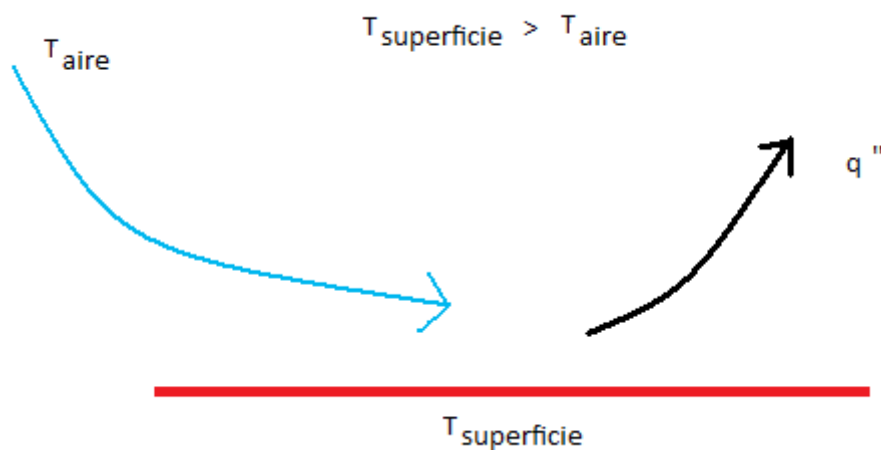


Figura 419. Convección de una superficie a un fluido en movimiento.

La transferencia de calor por convección puede clasificarse de acuerdo a la naturaleza del flujo que ataca la superficie. Se dice que es convección forzada cuando el flujo es inducido por componentes externos como pueden ser ventiladores. El fenómeno se clasifica como convección natural cuando el fluido se mueve sin ningún factor externo que provoque este

movimiento, como puede ser una diferencia de densidad causada por la diferencia de temperaturas en el fluido.

Típicamente la energía que se transfiere es sensible, pero también hay procesos como se podrá ver más tarde en el desarrollo del proyecto que puede llevar asociado un calor latente, que estará asociado al cambio de fase entre los estados líquido y vapor del fluido, como pueden ser la ebullición y la condensación.

La ecuación que describe el proceso de transferencia de calor por convección tiene la siguiente forma

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \text{ (Ec. 2)}$$

Donde el flujo de calor convectivo es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y el fluido. Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton y el parámetro h , cuyas unidades son vatios partido de metro cuadrado y Kelvin, se conoce como el coeficiente de convección. Este coeficiente de convección depende de la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y un conjunto de propiedades de transporte y termodinámicas del fluido.

El flujo de calor es positivo siempre que el calor se transfiera de la superficie al fluido, y negativo en el caso contrario.

2.3. Radiación.

El fenómeno de radiación se define como “energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura que sea superior a cero” [5]. Esta radiación se da en todo tipo de superficies: sólidos, líquidos y gases. Esta emisión puede estar atribuida a cambios en las configuraciones de los electrones de los átomos o moléculas que constituyen la materia. La energía de radiación se comunica por ondas electromagnéticas y alternativamente mediante fotones. De los tres fenómenos de transferencia de calor es el único que no necesita la presencia de un medio material para su transporte, de hecho, cuando más efectiva es la radiación es cuando la transferencia se da en el vacío.

La velocidad a la que una superficie emite energía en forma de radiación electromagnética depende de la temperatura y de la naturaleza de dicha superficie. Cuando la radiación incide sobre un cuerpo puede ser en parte absorbida, en parte reflejada, y dependiendo de la superficie transmitida. En general estas fracciones dependen de la temperatura y la naturaleza de la superficie. [7]

El flujo de calor emitido por una superficie real es siempre menor que el de un cuerpo negro a esa misma temperatura. El cuerpo negro es un caso límite, en el que toda la energía incidente desde el exterior es absorbida, y toda la energía incidente desde el exterior es emitida, pero no existe en la naturaleza un cuerpo negro. [7] El cuerpo negro se puede aproximar como una cavidad con una pequeña abertura. Hay un límite para la potencia emitida que está descrito en la siguiente ecuación con lo que se conoce como la ley de Steffan-Boltzmann, que describiría el comportamiento del cuerpo negro anteriormente descrito

$$E_b = \sigma T_s^4 \text{ (Ec. 3)}$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) y la temperatura T_s es la temperatura absoluta del cuerpo.

La transferencia de calor por radiación emitida por una superficie está descrita por la siguiente ecuación

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde ε es una propiedad de superficie denominada emisividad. Su valor va entre 0 y la unidad y da una idea de lo eficiente que es la superficie en relación con el cuerpo negro. Está muy ligado este coeficiente a la superficie y el acabado superficial del material.

La radiación también puede ser incidente en la superficie desde los alrededores, esta radiación se denomina irradiación, y se denomina por la letra G . Una parte de la irradiación es absorbida por la superficie incrementando la energía térmica de la misma. La capacidad que tiene el material de absorber esa energía radiada del exterior se denomina absorptividad (α) cuyo valor va de 0 a 1, y la energía absorbida se representa por

$$G_{abs} = \alpha G \quad (\text{Ec. 5})$$

La expresión que indica el flujo de calor transmitido por radiación, será la diferencia entre la energía emitida por la superficie y la que gana debida a la absorción de radiación.

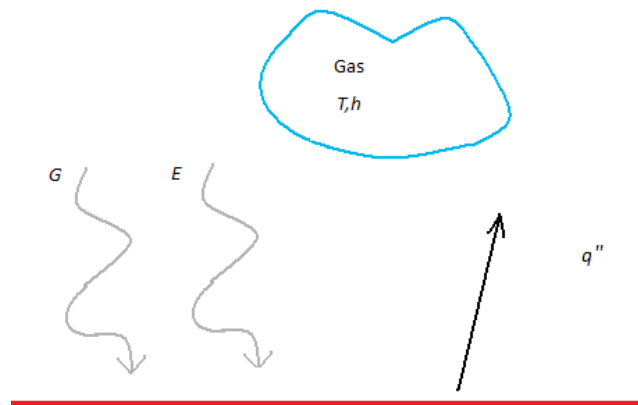


Figura 5. Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad ε , absorptividad α y temperatura T .

Una expresión para poder obtener el flujo de calor por radiación sería la siguiente

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G \quad (\text{Ec. 6})$$

Y si se trata de un cuerpo gris, cuya absorptividad es igual a la emisividad ($\varepsilon=\alpha$), la cantidad neta de radiación transferida desde la superficie es

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sup}^4) \quad (\text{Ec. 7})$$

Puede darse el caso en el que se puede dar simultáneamente transferencia de calor por convección y radiación a un gas vecino, y la expresión sería la siguiente ecuación que muestra la aportación de ambos fenómenos al flujo de calor total.

$$q = q_{conv} + q_{rad} = hA(T_s - T_{\infty}) + \varepsilon \sigma A(T_s^4 - T_{sup}^4) \quad (\text{Ec. 7})$$

2.4. Circuito térmico equivalente.

Para llevar a cabo el estudio de las cargas térmicas, para los cálculos del flujo de calor a través de las distintas superficies en el proyecto, se ha utilizado como método el “circuito térmico equivalente”. Este método se puede usar para cálculos de flujo de calor en el caso que este flujo de calor sea unidimensional sin generación de energía y cuando las propiedades de los materiales que atraviesa el flujo de calor son constantes, como es el caso de las paredes de la vivienda unifamiliar en la que se ha llevado a cabo el estudio. Así como una resistencia eléctrica está asociada a con la conducción de electricidad, una resistencia eléctrica está asociada con la conducción del calor. Esta resistencia térmica tendrá diferentes ecuaciones que la definen dependiendo del fenómeno de transferencia de calor al que se refiera. Así de forma similar a la ley de Ohm para la resistencia eléctrica

$$R_e = \frac{E_1 - E_2}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad (Ec. 8)$$

Donde L es la distancia que atraviesa la corriente eléctrica, sigma su conductividad y A el área que atraviesa.

Por lo tanto como se mencionaba antes para cada fenómeno de transferencia de calor tendremos, dependiendo de sus características y sus distintas variables distintas formas de modelizarlo, así para la conducción

$$R_{t,cond} = \frac{T_1 - T_2}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (Ec. 9)$$

Donde la única diferencia con la conductividad eléctrica es k, la conductividad térmica del material. En el caso de la convección

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (Ec. 10)$$

En la que la distancia que atraviesa el calor ya no tiene influencia como se puede observar en la ecuación que modeliza el fenómeno (ecuación 2) y se cambia la conductividad del material por el coeficiente de convección, h, que depende de la geometría de la superficie, del fluido y su velocidad, etc. En ocasiones también puede ser importante la radiación entre la superficie y sus alrededores, de forma que también existe una ecuación que modeliza una resistencia térmica de radiación

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sup}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad (Ec. 11)$$

Cuya ecuación es la misma que en el caso de convección teniendo en cuenta el coeficiente de transferencia de calor para radiación

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{sup})(T_s^2 + T_{sup}^2) \quad (Ec. 12)$$

Con estas ecuaciones se puede hacer un modelo que se asemeja mucho a la realidad por medio de circuitos con resistencias térmicas que hagan más fácil la comprensión y el cálculo de los diferentes problemas que se puedan dar. En el caso del proyecto se han utilizado estas ecuaciones y este método de las resistencias térmicas para calcular el flujo de calor a través de la pared de la vivienda. Este problema se puede abordar con estos modelos, ya que es uno de los más sencillos, teniendo en cuenta dos únicos procesos: convección y conducción.

El problema de la pared plana en el proyecto se presenta de la siguiente forma, el muro de la casa consta de cinco diferentes tipos de material puestos uno delante de otro con el siguiente orden visto desde el exterior de la vivienda: Enfoscado de cemento, ladrillo hueco, fibra de vidrio (tipo I), ladrillo hueco y guarnecido de yeso. Para modelar la pared por medio del modelo de resistencias térmicas también hace falta introducir la transferencia de calor por convección, que como se indica en el código técnico de la edificación y según la orientación de dicha transferencia, se tiene unos coeficientes de convección distintos. En este caso al ser la transferencia de calor a través del muro de la vivienda los valores exterior e interior del coeficiente de convección se muestran en la figura 6.

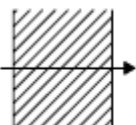
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal 	0,04	0,13

Figura 6. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en m²K/W. [6]

El circuito térmico equivalente asociado al muro de la vivienda unifamiliar de estudio sería el que muestra la figura 7.



Figura 7. Circuito térmico equivalente correspondiente al muro de la vivienda.

El código técnico de la edificación marca que en invierno la temperatura interior de confort son 20°C y en verano la temperatura de confort se eleva hasta los 25°C. La temperatura exterior que se utilizará para los cálculos se obtiene de mediciones cada hora durante todo el año, por lo que se tendrá la temperatura de cada hora del año, pudiendo así obtener datos fiables.

Además de las resistencias mostradas anteriormente en muchas ocasiones se utilizan muchas otras, que pueden ser obtenidos sus valores en experimentos como pueden ser las resistencias de contacto, debidas al contacto entre dos superficies y los intersticios que se pueden dar entre ellas, o otras como por ejemplo debidas al ensuciamiento, resistencias de ensuciamiento, que pueden aumentar con el tiempo ya que la suciedad se va acumulando por ejemplo en un tubo y eso hace que exista una nueva resistencia que antes no estaba o es variable con el tiempo.

2.5. Coeficiente global de transferencia de calor.

Para los sistemas que se distribuyen en capas, como en el muro de la vivienda que se estudia, a veces es conveniente trabajar con el coeficiente global de transferencia de calor, U, que se define con una expresión similar a la ley de enfriamiento de Newton.

$$q_x = UA\Delta T \quad (Ec. 13)$$

Donde ΔT es la diferencia de temperaturas total, en este caso, la diferencia entre la temperatura interior y exterior. El coeficiente global de transferencia de calor está relacionado con la resistencia térmica total de la siguiente forma

$$UA = \frac{1}{R_{total}} \quad (Ec. 14)$$

Y la resistencia total a la que hace referencia es el sumatorio de las resistencias térmicas de la pared. A veces pueden estar distribuidas tanto en serie como en paralelo las resistencias térmicas, para solucionar este problema hay diferentes formas de sumar las resistencias, pero en el caso de estudio todas las resistencias se abordan en serie, con lo que una suma de las resistencias es la manera de solucionar el problema.

Para la resolución del problema planteado de cargas térmicas en el edificio lo primero que se tiene que realizar es el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en todos los distintos tipos de superficies susceptibles de transferencia de calor entre ellas y el exterior. Para ello, con la teoría expuesta anteriormente tanto de resistencias térmicas como del uso del coeficiente global de transferencia de calor y siguiendo las pautas del código técnico de la edificación, documento básico de ahorro de energía se calcula el coeficiente global de transferencia de calor en las zonas susceptibles de intercambio de calor.

2.5.1. Coeficiente global de transferencia de calor en el muro.

El muro está compuesto por los siguientes materiales, con su respectivo espesor de cada capa y su conductividad térmica.

Número	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
1	Enfoscado de cemento	0,015	1,40
2	Ladrillo hueco	0,09	0,49
3	Fibra de Vidrio (Tipo I)	0,05	0,044
4	Ladrillo hueco	0,09	0,49
5	Guarnecido de yeso	0,015	0,57

Tabla 1. Listado de materiales con sus espesores y conductividad térmicas del muro que envuelve la vivienda.

Además se tiene que incluir las resistencias debidas a la convección que muestra el código técnico para este tipo de cerramientos en contacto con el exterior, estos datos son los mostrados en la Figura 6.

Se debe resaltar que de aquí en adelante el espesor del aislante, fibra de vidrio, se mantendrá en 0,05 metros, que es el dato constructivo. Más adelante se le asociará un valor variable para conseguir el cálculo del espesor óptimo de aislante, objetivo final del proyecto.

El coeficiente de transferencia de calor en el muro se calculará de acuerdo al código técnico de la siguiente forma

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{se} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} + \frac{e_5}{k_5} + R_{si}} \quad (Ec. 15)$$

Donde los subíndices corresponden a los diferentes materiales con los números de la Tabla 1. El valor numérico que muestra la solución del coeficiente global de transferencia de calor es 0,585 W/m²K.

2.5.2. Coeficiente global de transferencia de calor del muro enterrado.

En el sótano de la vivienda, hay un porcentaje de muro enterrado en el suelo. Aunque no se considerará para la climatización de la vivienda, es necesario ver el coeficiente global de transferencia de calor para ver si cumple el cerramiento con el código técnico. En este caso U se obtendrá en función de la profundidad del enterramiento del muro respecto al nivel del terreno, de su resistencia térmica calculada del mismo modo que en el caso anterior despreciando la convección y una longitud característica definida en el código técnico de la edificación. Este tipo cerramientos corresponden al caso 2 de suelos en contacto con los terrenos. Una figura que ilustra la situación es la figura 8, obtenida del código técnico de la edificación [6]

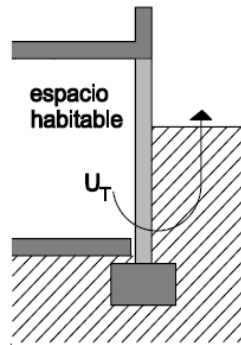


Figura 208. Muro en contacto con el terreno. [6]

Se procede al cálculo de la transferencia de calor en este tipo de muros en contacto con el terreno teniendo en cuenta la altura enterrada, en el caso de la vivienda que se está estudiando este enterramiento es de 1,75 metros. Por otro lado se tiene que calcular la resistencia del muro, en este caso no se tendrán en cuenta los términos debidos a la convección o resistencias térmicas superficiales

$$R_m = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} + \frac{e_5}{k_5} \quad (\text{Ec. 16})$$

El valor de esta resistencia térmica en el muro es de 1,541 m²K/W y con los datos de la tabla 2 podremos calcular por interpolación, el coeficiente global de transferencia de calor en el muro que se encuentra enterrado, obteniéndose un valor de 0,547 W/m²K, un valor cercano al valor de U para el muro sin enterrar.

Rm (m ² K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Tabla 2. Coeficiente de transferencia de calor en muros enterrados medido en W/m²K. El cálculo se realiza en función de la profundidad del muro enterrado y la resistencia térmica del muro. [6]

2.5.3. Coeficiente global de transferencia de calor en el suelo.

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor del suelo de la vivienda primero hay que definir la composición de ese suelo de la misma forma que se hizo en el caso del muro de la vivienda. Con los datos constructivos de la vivienda se tiene que las capas en las que está dividido el suelo son las que muestra la tabla 3, con sus espesores y conductividades térmicas asociadas.

Número	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
6	Relleno de arena	0,4	0,58
7	Encachado de piedra	0,35	2,33
8	Solera de hormigón	0,35	1,63
9	Madera	0,03	0,14

Tabla 3. Listado de materiales con sus espesores y conductividad térmica del suelo de la vivienda.

Con estos datos se puede calcular la resistencia térmica del suelo, que será necesaria posteriormente para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.

$$R_{\text{suelo}} = \frac{e_6}{k_6} + \frac{e_7}{k_7} + \frac{e_8}{k_8} + \frac{e_9}{k_9} \quad (\text{Ec. 17})$$

Siendo la resistencia térmica del suelo 1,269 m²K/W. Además de la resistencia térmica del suelo, para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en el suelo necesitamos el rango de la altura del muro enterrado, que está entre 1 y 2 metros y una longitud característica B' que se define de la siguiente manera

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde A es el área del suelo, que obtenido de los planos que se muestran en el anexo son 209,83 m² y P es el perímetro de dicho área, 62,53 m. El valor de esta longitud característica necesaria es de 6,711 m. Con los datos anteriormente calculados y con la tabla 4 interpolando entre sus valores, podemos obtener el coeficiente global de transferencia de calor en el suelo.

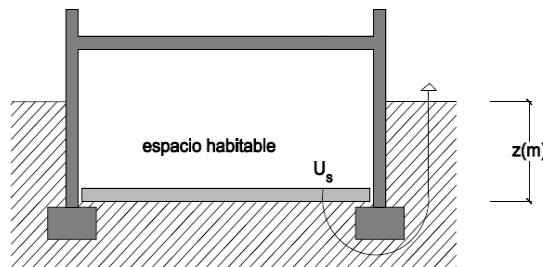


Figura 9. Solera enterrada. [6]

B'	1.0 m < z ≤ 2.0 m			
	Rf (m² K/W)			
	0,00	0,50	1,00	1,50
5	0,54	0,45	0,40	0,36
6	0,48	0,41	0,36	0,33
7	0,44	0,38	0,33	0,30
8	0,40	0,35	0,31	0,28
9	0,37	0,32	0,29	0,26
10	0,35	0,30	0,27	0,25
12	0,31	0,27	0,24	0,22
14	0,28	0,25	0,22	0,20
16	0,25	0,23	0,20	0,19
18	0,23	0,21	0,19	0,18
≥20	0,22	0,19	0,18	0,16

Tabla 4. Transmitancia térmica en suelos. Fragmento que muestra el rango en el que se encuentra la vivienda del proyecto. [6]

Se obtiene un valor del coeficiente global de transferencia de calor para el suelo de 0,323 W/m²K.

2.5.4. Coeficiente global de transferencia de calor en el techo.

Para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor en el techo, lo primero que se tiene que hacer es conocer las capas de material de la que está hecho el mismo. La tabla 5, muestra de la misma forma que se había hecho antes con el muro y el suelo los distintos materiales con los que está construido el techo de la vivienda. En este caso si será necesario definir unas resistencias térmicas superficiales debidas a la convección siguiendo las pautas del código técnico de la edificación.

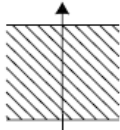
Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente 	0,10	0,10

Figura 10. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior con flujo de calor ascendente. Valores en m²K/W. [6]

Número	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
10	Hormigón con áridos	0,05	1,46
11	Bovedilla de hormigón	0,25	1,39
12	Fibra de vidrio (Tipo I)	0,08	0,044
13	Yeso	0,02	0,57

Tabla 15. Datos constructivos de los materiales del techo con sus respectivas propiedades.

El segundo paso en el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en el techo es definir la habitabilidad del espacio. En el caso que se está estudiando tenemos un espacio habitable, que representa la vivienda en sí, donde se va a realizar la vida de las personas que habiten la casa, y un espacio no habitable, que representaría el espacio que se pierde en la construcción angulosa del tejado. Un ejemplo claro de este tipo de espacio sería el de la figura 10.

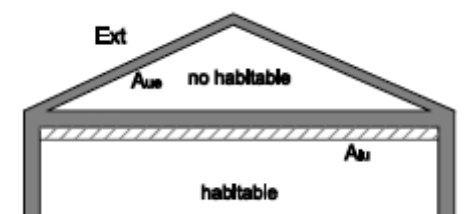


Figura 11. Ejemplo de la vivienda del estudio y las posiciones de los espacios habitables, no habitables y el aislante térmico. [6]

Será necesario calcular el coeficiente global de transferencia de calor por el techo del espacio habitable al no habitable, y más tarde a este coeficiente, siguiendo los pasos del código técnico de la edificación, se le aplicará un coeficiente de reducción de temperatura debido al espacio no habitable, siendo el coeficiente global de transferencia de calor por el techo la multiplicación de ambos coeficientes

$$U_{techo} = bU_p \quad (Ec. 19)$$

El valor de U_p se calcula de la misma forma que cualquier pared plana compuesta de diferentes materiales con la ecuación 20, que ofrece un resultado de $0,441 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$U_p = \frac{1}{R_{ste} + \frac{e_{10}}{k_{10}} + \frac{e_{11}}{k_{11}} + \frac{e_{12}}{k_{12}} + \frac{e_{13}}{k_{13}} + R_{sti}} \quad (Ec. 20)$$

Para el cálculo del coeficiente reductor b necesitaremos calcular la relación de áreas entre la partición interior y los cerramientos

$$\frac{A_{iu}}{A_{ue}} = \frac{209,83}{263,4} = 0,797 \quad (Ec. 21)$$

E interpolando con este valor en la tabla 7 que proporciona el código técnico de la edificación para el cálculo del coeficiente de reducción de temperatura, obtenemos que esta reducción es 0,67 y el valor del coeficiente global de transferencia de calor para el techo es de $0,295 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A_{iu}/A_{ue}	Aislado _{ue} -No aislado _{iu}	
	CASO 1	CASO 2
<0.25	0,91	0,96
0.25 ≤0.50	0,77	0,90
0.50 ≤0.75	0,67	0,84
0.75 ≤1.00	0,59	0,79
1.00 ≤1.25	0,53	0,74
1.25 ≤2.00	0,44	0,67
2.00 ≤2.50	0,36	0,59
2.50 ≤3.00	0,32	0,54
>3.00	0,28	0,50

Figura 2112. Fragmento de la tabla que interesa en el caso de estudio para el cálculo del coeficiente de reducción b para techos. [6]

2.5.5. Coeficiente global de transferencia de calor en ventanas.

En la vivienda coexisten solamente dos tipos de ventanas si estas se clasifican por el cristal con el que están fabricadas. Uno de los tipos son ventanas de doble acristalamiento tipo climalit®, dos lunas incoloras de 4 milímetros de espesor y 10 milímetros de cámara de aire deshidratado, cuyo coeficiente global de transferencia de calor es 2,94 W/m²K. [8]. El resto de ventanas corresponden a las que se encuentran en el semisótano que son de acristalamiento con vidrio translúcido e incoloro impreso de ¾ milímetros de espesor cuyo coeficiente global de transferencia de calor es de 5,32 W/m²K.

El primer tipo de ventanas serán las que se encuentren en la vivienda de gran relevancia para el consumo energético de la casa, y las segundas serán las que se encuentran en el semisótano, de menor relevancia, entre otras cosas por su reducido tamaño.

2.5.6. Coeficiente global de transferencia de calor en puertas.

En la vivienda hay tres puertas, dos de ellas construidas en el mismo material y la tercera, la puerta del garaje. La puerta principal está hecha en pino y barnizada y sus medidas son de 160x210 centímetros. La puerta secundaria está realizada también en pino y barnizada aunque de más pequeñas dimensiones. Para estas dos puertas realizadas en pino se tiene el mismo coeficiente global de transferencia de calor 3,816 W/m²K. Para calcular este coeficiente U, se ha partido de el espesor de la puerta que son 45 milímetros y la conductividad térmica del pino 0,163 W/mK. [9].

Para la puerta del garaje se ha tenido que hacer un estudio un poco más amplio, ya que el catálogo de la puerta seleccionada no mostraba los datos del coeficiente global de transferencia de calor. Por ello, a partir de los materiales con los que había sido construida se ha tenido que estimar un coeficiente global de transferencia de calor para esta puerta. De sus detalles constructivos se puede desprender que la puerta está realizada en acero laminado con cámara interior de poliuretano expandido. Las conductividades del acero y el poliuretano expandido se han obtenido del prontuario de la construcción y los espesores del catálogo de la puerta. Haciendo los cálculos pertinentes con todos los datos de la puerta [10] se ha obtenido que su coeficiente global de transferencia de calor sea 0,807 W/m²K.

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican. Para la limitación de la demanda energética se establecen doce zonas climáticas identificadas según sea el invierno, con una letra, y según sea el verano, con un número. La zona climática de cualquier localidad se obtiene de la tabla 7, obtenida del código técnico de la edificación en función de la altura entre la localidad en la que se encuentra la vivienda y la altura de referencia de la capital de provincia. La localidad en la que se encuentra la vivienda es Sevilla la Nueva, una localidad del Suroeste de la Comunidad de Madrid cuya altitud son 673 metros. [12]. La capital de la provincia que se utiliza como referencia es Madrid, cuya altitud es de 589 metros por lo que la diferencia de altitud son 84 metros.

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Figura 13. Cuadro de zonas climáticas y cambio de zona dependiendo de la altitud. [6]

Como la diferencia de altura que existe entre Sevilla la Nueva y Madrid, que es la de referencia, es menor de 200 metros se toma la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia, en el caso la zona climática será D3.

Con este dato de zona climática se procederá a la verificación de los valores límite de los parámetros característicos medios, que para la zona climática de la localidad los muestra la figura 14.

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,28$

Figura 14. Valores límite de los parámetros característicos medios. [6]

Para la comparación y comprobación de estos valores límite se mostrará en la tabla 6 los distintos coeficientes globales de transferencia de calor

Elemento	Valores calculados ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Valores límite ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Muros	0,585	0,66
Suelos	0,323	0,49
Cubiertas	0,295	0,38

Tabla 6. Comparación de los valores calculados y los valores límite.

A la vista de los datos de la tabla 6, se puede concluir que los cerramientos están dentro de los límites marcados por el código técnico de la edificación, por tanto la vivienda con estos materiales se puede construir cumpliendo las leyes españolas.

2.5.7. Áreas de transferencia de calor en la vivienda.

Como indica la ecuación 13, el flujo de calor depende del coeficiente global de transferencia de calor, calculado en los apartados anteriores, la diferencia de temperaturas interior y exterior y el área de transferencia de calor. Se necesitará por tanto calcular el área de transferencia de calor para todas las zonas susceptibles de transmisión de calor. En la tabla 6 se muestran los diferentes áreas de transferencia de calor, calculados a partir de los planos de la vivienda.

Elemento		Área (m^2)
Muro	Enterrado	109,428
	No enterrado	197,797
Suelo		209,830
Techo		209,830
Tejado		263,400
Ventanas	Semisótano	5,520
	Vivienda	17,088
Puertas	Garaje	7,500
	Vivienda	5,060

Tabla 7. Áreas de los distintos elementos constructivos de la vivienda susceptibles de transferencia de calor.

2.6. Psicrometría.

Hasta ahora todo lo explicado anteriormente ha sido referido al calor sensible, debido únicamente al cambio de temperatura, pero en ocasiones en los elementos constructivos y algunos equipos utilizados habitualmente en la vivienda, ya sea por su funcionamiento o por los factores climáticos externos también presentan un calor latente. Este calor latente se debe a una diferencia de humedad. La psicrometría se encarga de su estudio y es necesario hacer una mención a este tema, ya que en un futuro se utilizará.

La psicrometría es la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano. [11]. La psicrometría, en concreto para el proyecto que se lleva a cabo debe dar un método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Para llevar esto a cabo el material más didáctico y utilizado es el diagrama psicrométrico como el de la figura 13. Sólo hay cinco cambios posibles en la condición del aire, todos representados fácilmente en el diagrama psicrométrico, desde el punto de estado inicial hasta un segundo punto que representa una condición diferente. Los distintos procesos son los siguientes: procesos de calor sensible constante, con temperatura de bulbo seco constante, procesos de calor latente constante, con un contenido en humedad y una temperatura de rocío constante, procesos adiabáticos, procesos de humedad relativa constante o una combinación de cualquiera de los procesos anteriores.

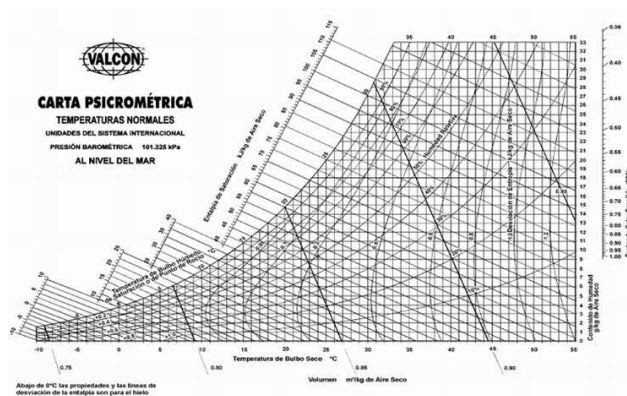


Figura 15. Diagrama psicrométrico.

3. CARGAS TÉRMICAS.

Para el estudio de cargas térmicas se procederá calculando las mismas en el periodo invernal donde el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) marca unas condiciones de temperatura operativa interior entre 20 y 23 grados centígrados y una humedad relativa comprendida entre el 40 y el 50%. En el periodo estival, cuando las cargas térmicas a calcular serán de refrigeración las condiciones de temperatura operativa estarán comprendidas entre 23 y 25 grados centígrados y la humedad relativa entre el 45 y el 60%.

Para este estudio de cargas térmicas se deberá por tanto diferenciar entre cargas térmicas de calefacción y cargas térmicas de refrigeración.

Para poder llevar a cabo este análisis se tendrán que definir una temperatura y una humedad relativas exterior, que serán cambiantes dependiendo del día en el que se encuentren. Para ello se tendrán que definir ambos vectores, con datos reales de temperatura y humedad relativa que para conseguir una buena precisión se han tomado para cada hora del año. De este modo se tendrá la temperatura exterior en el ambiente de la vivienda en cada hora del año así como la humedad relativa. De esta forma se podrán hacer los cálculos para cada hora pudiéndose apreciar más tarde las diferentes cargas térmicas, que vendrán diferenciadas por la hora del año, pudiendo así hacer un estudio más preciso. Los gráficos 1 y 2

muestran las temperaturas y humedad relativa en cada hora del año como se ha explicado anteriormente.

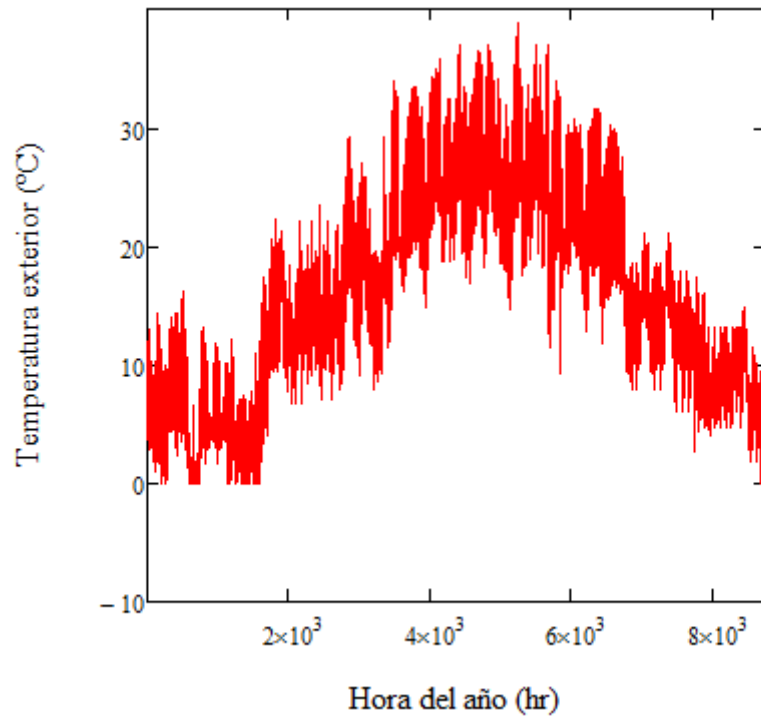


Gráfico 1. Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año.

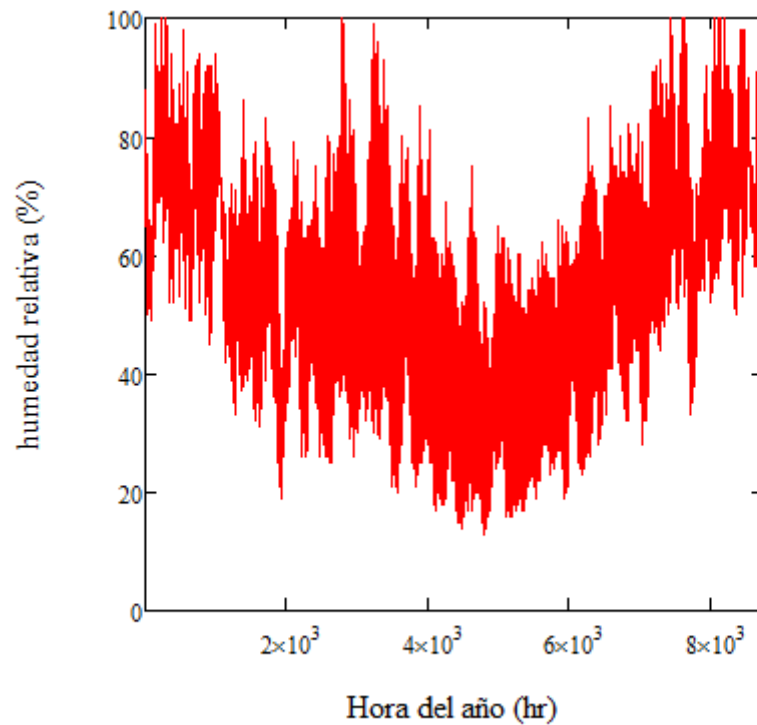


Gráfico 2. Humedad relativa en tanto por cien cada hora del año.

Nótese una anomalía en el gráfico de la temperatura exterior que queda representado en el primer tercio de la gráfica cuando las temperaturas normalmente tienen un descenso por debajo de los cero grados. Un fallo en el sensor que realizó la toma de datos no muestra las temperaturas por debajo de este valor. Al ser el rango de las temperaturas por debajo de cero grados pequeño al igual que el número de muestras con esta anomalía, no presenta un problema a la hora de realizar los cálculos con exactitud.

Además de la definición de temperaturas y humedades relativas en el interior y el exterior de la vivienda será necesario hacer una diferenciación entre verano e invierno. Para el estudio se toman dos estaciones básicamente, ya que a lo largo del año las dos operaciones a realizar son la calefacción y la refrigeración de la vivienda, pero no corresponden con las estaciones reales de invierno y de verano, sino a condiciones de calefacción y climatización. Haciendo un estudio del gráfico 1 que muestra las temperaturas exteriores para definir ambos periodos de calefacción y climatización se ha establecido que el inicio de la temporada de refrigeración será el 26 de Abril a las 16 horas y el final de esta temporada será el 8 de Octubre a las 1 horas. Estos datos corresponden a cuando la temperatura exterior empieza aumentar y disminuir de forma consistente estando por encima y por debajo, según sea calefacción o refrigeración, de la temperatura de confort interior.

3.1. *Cargas térmicas en periodo de calefacción.*

En el periodo de calefacción se ha tomado una temperatura que está dentro del margen que establece el RITE, como son 20° C. En este periodo las cargas térmicas que se tendrán en cuenta serán las de transmisión y las cargas térmicas debidas a ventilación y las infiltraciones, que se irán desgranando una a una para facilitar tanto el análisis como la comprensión de los cálculos realizados.

3.1.1. Carga térmica de transmisión.

La carga térmica de transmisión es la carga sensible, debida únicamente a la diferencia de temperaturas, transmitida al interior del edificio por conducción a través de los cerramientos. La ecuación 22 indica cómo se modela esta carga

$$Q_{transmisión} = U_{cerramiento} \cdot A_{cerramiento} \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 22)$$

Para modelar esta carga térmica se tendrá que ir viendo uno a uno todos los elementos constructivos, ya que para todos ellos las temperaturas interior y exterior son las mismas, pero tanto el coeficiente global de transferencia de calor como la superficie que cubren varía. Los gráficos 3 y 4 muestran respectivamente la carga térmica en el muro y en el techo. Se han eliminado los valores correspondientes al periodo de climatización, por tanto en el periodo de calefacción este rango tendrá un valor de cero. Ambos gráficos se han obtenido utilizando la ecuación 22 para cada hora del año.

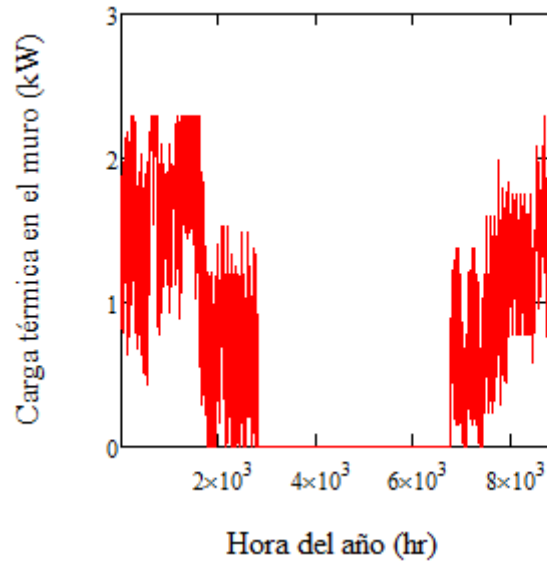


Gráfico 3. Carga térmica de transmisión en el muro en periodo de calefacción.

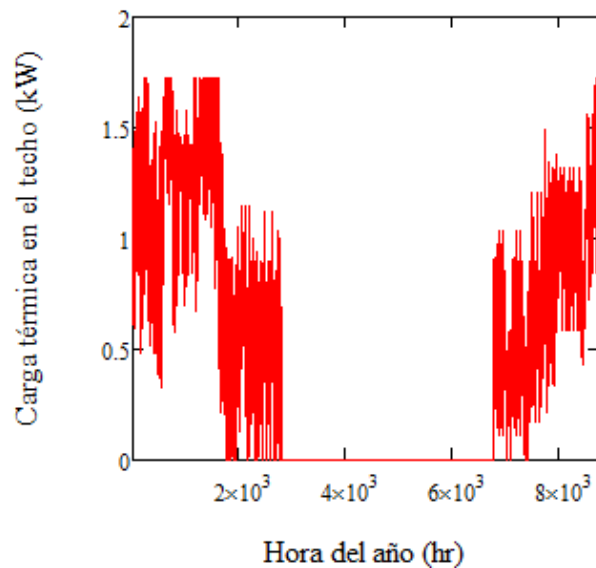


Gráfico 4. Carga térmica de transmisión en el techo en periodo de calefacción.

Para poder calcular la carga térmica aportada por el suelo de la vivienda hay que hacer un estudio previamente del uso del semisótano de la casa. Esta parte baja de la casa tiene como uso el garaje de la misma, por ello no será necesario ni refrigerar ni calentar esta zona, ya que en ella no se vivirá. Por ello, en toda esta zona se estimará una temperatura para el periodo de calefacción que será la que esté en contacto real con el suelo de la vivienda. La forma en que se estima la temperatura del garaje será la media entre la temperatura del suelo y la temperatura interior de confort. Al ser la tanto la temperatura interior como la del terreno constantes a lo largo del periodo de calefacción el aporte de carga térmica será constante para todas las horas del año. La temperatura del terreno en la localidad donde se sitúa la vivienda es de 5°C que haciendo la media con la temperatura interior de confort en la vivienda obtenemos un valor para la temperatura del garaje de 12,5°C.

Otro elemento que se tiene que estudiar son las ventanas de la vivienda. Como se había expuesto antes, en la casa había dos tipos de ventana diferenciando por el tipo de aislamiento

del cristal. Un tipo estaban en el garaje, de pequeñas dimensiones y otras se encontraban en la vivienda, donde se va a realizar la vida dentro de la casa. Éstas últimas son las que se tendrán en cuenta a la hora del estudio, ya que como se ha expuesto antes, el garaje no va a estar climatizado y esas ventanas pequeñas no influirían en la carga térmica. Existen 13 ventanas de estas características que en total cubren un área de 17,088 m² como muestran los datos de la tabla 7.

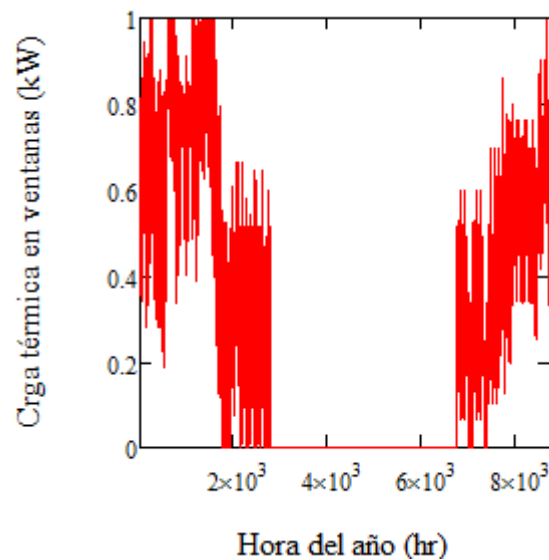


Gráfico 5. Carga térmica de transmisión en las ventanas en periodo de calefacción.

De la misma forma que ocurre con las ventanas, con las puertas se da el mismo caso de no ser necesaria la calefacción del garaje, por tanto no se tendrán que usar los datos de la puerta del mismo. Solo serán relevantes las dos puertas de pino de las que anteriormente se había calculado su coeficiente global de transferencia de calor. Usando la ecuación 22 y al estar las dos en contacto con el exterior obtendremos un valor distinto para cada hora del año, siendo el gráfico 6 el que nos muestra la evolución en el periodo de calefacción.

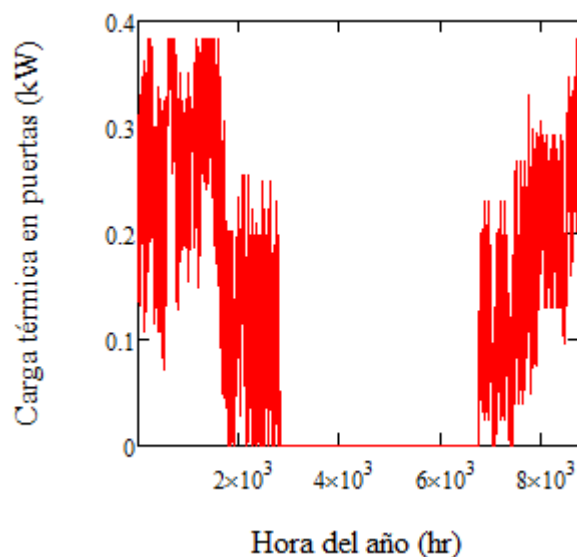


Gráfico 6. Carga térmica de transmisión en las puertas en periodo de calefacción.

Del gráfico 3 al gráfico 6 se muestran todas las influencias a la carga térmica total de cada elemento constructivo susceptible de transmitir carga sensible por transmisión, utilizando la ecuación 23 se obtiene la suma total debida a la transmisión en la vivienda en condiciones de calefacción.

$$Q_{transmisión} = Q_{muro} + Q_{techo} + Q_{suelo} + Q_{ventanas} + Q_{puertas} \quad (Ec. 23)$$

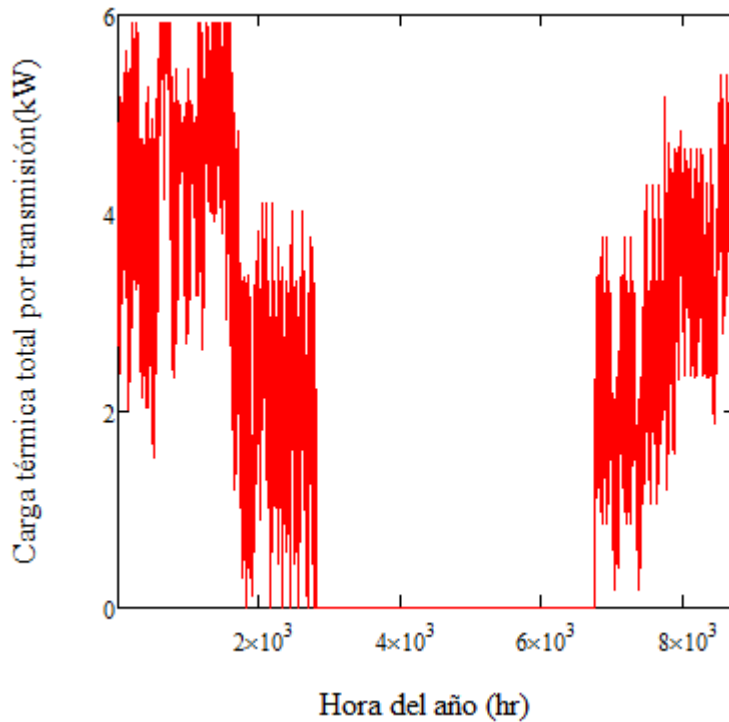


Gráfico 7. Carga térmica total de transmisión en periodo de calefacción.

Un estudio rápido de la carga de transmisión puede concluir que lo más importante para la carga de transmisión es el muro, ya que el área de transferencia de calor es muy grande, aunque el coeficiente de transferencia de calor no sea elevado y la influencia menor son las puertas, por su reducida área de transferencia y su bajo coeficiente global de transferencia de calor, debido a la conductividad térmica favorable del pino. El techo sería el segundo aporte mayor a la carga térmica seguido de las ventanas, muy evolucionadas actualmente y el suelo.

3.1.2. Carga térmica de ventilación.

Para evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado es necesario introducir una cierta cantidad de aire exterior que se llama de ventilación. La carga de ventilación es la derivada de esta renovación del aire del interior de la vivienda. Las ecuaciones 24 y 25 muestran la forma de cuantificar esta carga térmica, que tendrá dos componentes, sensible, ecuación 23 y latente, ecuación 24.

$$Q_{vent\ sensible} = V_{aire}\rho_{aire}Cp_{aire}(T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 23)$$

$$Q_{vent\ latente} = V_{aire}\rho_{aire}h_{fg\ agua}(\omega_{int} - \omega_{ext}) \quad (Ec. 24)$$

Se puede determinar el caudal de aire de ventilación utilizando los caudales mínimos exigidos en el código técnico de la edificación. Estos caudales se distinguen en litros por segundo de aire que depende del número de personas que habiten la casa, o de la superficie que ocupan las distintas estancias de la casa. La figura 16 muestra estos caudales mínimos exigidos que han sido utilizados para calcular el caudal de ventilación.

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Lo- ca- les	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Figura 16. Caudales de ventilación mínimos exigidos. [14]

Por la distribución de la vivienda y número de habitaciones se puede concluir que ha sido planteada para que seis personas convivan en la misma. Tras la realización de los cálculos correspondientes y utilizando las propiedades del aire que figuran en el anexo II los caudales de aire que son necesarios para el cumplimiento del código técnico de la edificación se muestran en la tabla 7.

Estancia	Cantidad	Superficie (m^2)	Caudal de aire (l/s)
Dormitorio principal	1	-	10
Dormitorio secundario	4	-	20
Sala de estar	1	-	18
Salón	1	-	18
Cocina	1	9,33	18,66
Baño	4	-	60
Zona común	1	37,32	26,124
Archivo y despacho	1	-	10

Tabla 8. Caudales mínimos en cada estancia de la casa.

El caudal global de ventilación que será necesario en la casa, y el que para el cálculo de la transferencia de calor se utilizará en las ecuaciones 23 y 24 será 180,784 l/s. La suma del flujo de calor debido al cambio de temperatura y al cambio de humedad, sensible y latente formaría el total del flujo de calor debido a la ventilación de la vivienda, que se muestra en el gráfico 8.

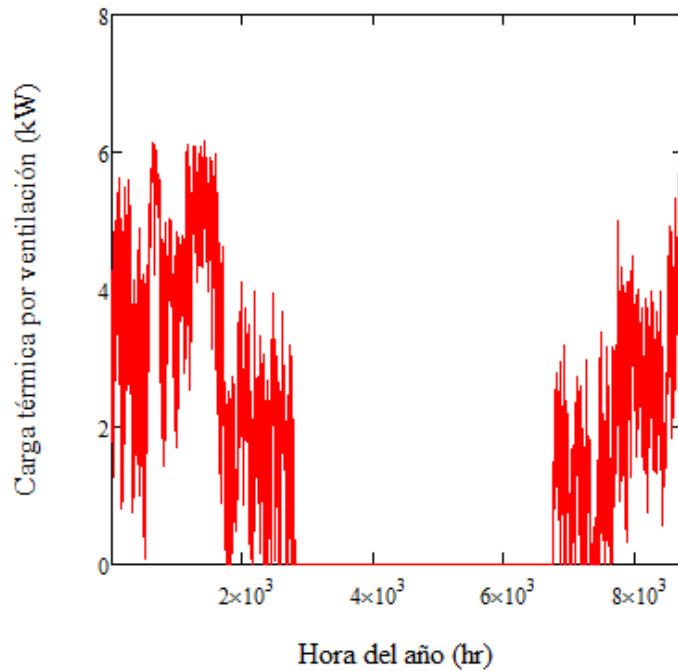


Gráfico 8. Carga térmica total de ventilación en periodo de calefacción.

La mayor influencia en la carga térmica de ventilación es la debida al calor sensible, ya que según las horas entre otras cosas la diferencia de temperaturas es mayor que la diferencia de humedades debiéndose aproximadamente un 33% al flujo creado por la diferencia de humedades relativas y un 66% al debido a la diferencia de temperaturas en la aportación a la carga térmica por ventilación.

3.1.3. Carga térmica por infiltraciones.

Las infiltraciones de aire exterior en un local climatizado se producirán siempre que el local esté a una presión inferior que el ambiente que le rodea. Las infiltraciones producen diversos efectos como la introducción de frío en el periodo de calefacción o calor en el periodo de refrigeración en el ambiente interior, también pueden introducir en el local polvo y contaminantes exteriores así como vapor de agua, con la consiguiente carga latente.

Las infiltraciones y, en particular, la entrada de vapor de agua, constituyen un origen importante de ganancias o pérdidas de calor. El caudal de aire de infiltración varía según la estanqueidad de puertas y ventanas, la porosidad de las paredes del edificio, su altura, dirección, entre otras muchas. En ocasiones, muchos de esos parámetros dependientes no pueden ser calculados y deben ser objeto de una estimación más o menos empírica.

Las infiltraciones por puertas y ventanas durante el invierno son debidas a la presión dinámica del viento y al efecto chimenea, que es como se denomina a la diferencia de densidades entre el aire exterior y el interior provocado por diferencias de humedad y temperatura. El aire exterior penetra por las partes bajas, se calienta en el interior, asciende y se evacúa por las partes altas, dándose un movimiento de circulación natural.

Para el cálculo del caudal de infiltración se ha tenido en cuenta que por las puertas el caudal de infiltración es del $2,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ y por las ventanas es de $1,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. Con estos

datos se puede calcular el calor debido a las infiltraciones, como suma del latente y el sensible, que se muestra en el gráfico 9.

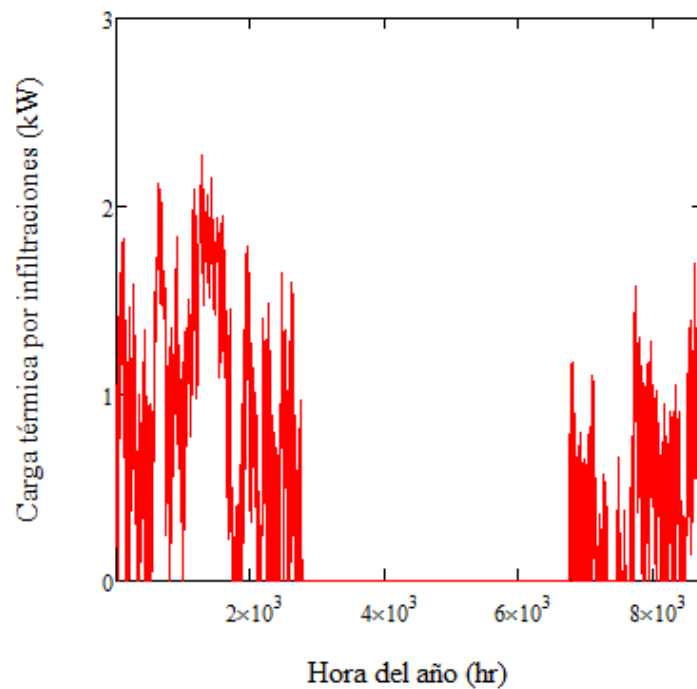


Gráfico 9. Carga térmica por infiltraciones en periodo de calefacción.

Con el estudio de las cargas térmicas de ventilación, infiltración y transmisión se completa el estudio de cargas térmicas en periodo de calefacción. La suma de estos tres aportes de calor tendrá como resultado la carga térmica total en este periodo. La carga térmica total en periodo de calefacción se muestra en el gráfico 10.

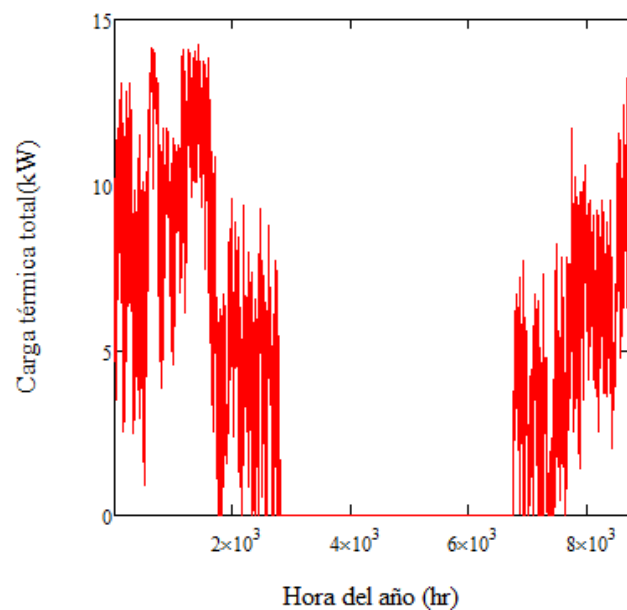


Gráfico 10. Carga térmica total en periodo de calefacción.

De los datos del gráfico se puede desprender que la máxima potencia que demanda la casa para la calefacción son 14,22 kW. Por tanto para que se pueda completar la calefacción de

la vivienda, el sistema de calefacción deberá ser capaz de aportar esa cantidad de calor como mínimo, ya que hay uno o varios días al año que se produce esa demanda, y el sistema de calefacción debe ser capaz de acondicionar el ambiente en estas condiciones.

3.2. Carga térmica en el periodo de refrigeración.

Siguiendo la práctica marcada por el Código Técnico de la Edificación en el periodo de refrigeración la temperatura interior que se utilizará será 25°C además siguiendo las mismas pautas la humedad relativa para este periodo se tomará del 40%. En el periodo de refrigeración no sólo se tendrán en cuenta los aportes de calor por transmisión, ventilación e infiltraciones. Además de estas tres cargas térmicas se tendrán en cuenta la carga térmica por radiación y la denominada carga interna, derivada del uso del edificio.

En esta ocasión los cálculos se realizarán para el periodo de refrigeración, que se ha estipulado entre el día 26 de Abril a las 16 horas, hasta el día 8 de Octubre a las 1 horas.

3.2.1. Carga térmica por transmisión.

Al igual que en el periodo de calefacción será de significativa importancia este calor a la hora de determinar la carga térmica total en el periodo de refrigeración. La única diferencia apreciable en el caso de la carga de transmisión es que en el periodo de refrigeración la diferencia de temperaturas cambia, ya que la temperatura exterior será superior en la mayoría del tiempo a la temperatura interior de confort estipulada. Por tanto, la ecuación que se utilizará para el cálculo de la carga térmica de transmisión será la ecuación 22, pero en este caso a la temperatura exterior se le restará la temperatura interior. El gráfico 11 y el gráfico 12 muestran la evolución de la carga térmica debida a la transmisión en el muro y en el techo respectivamente.

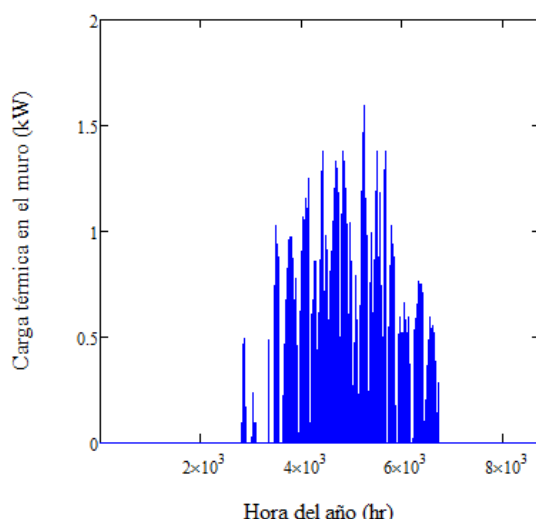


Gráfico 11. Carga térmica de transmisión en el muro en periodo de refrigeración.

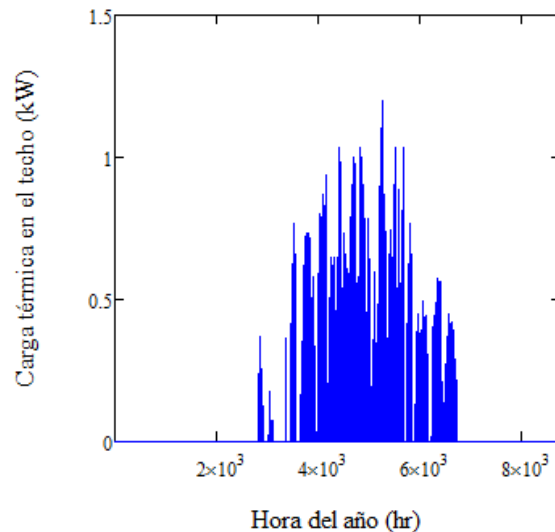


Gráfico 12. Carga térmica de transmisión en el techo en periodo de refrigeración.

Para el caso de la temperatura del suelo se tendrá que hacer un estudio aparte. Considerando como en el periodo de calefacción el garaje o semisótano como una estancia que no será necesario climatizar calcularemos su temperatura como media entre la temperatura del terreno y la de confort interior. Considerando la temperatura del terreno 7°C , realizando la media con la temperatura interior se obtiene que en el garaje la temperatura es de $16,15^{\circ}\text{C}$. Al ser esta temperatura menor que la de confort interior este aporte será una ganancia y por tanto no será necesario tenerlo en cuenta para el global de carga térmica en el periodo de refrigeración.

Para la carga térmica por transmisión en puertas y ventanas de los gráficos 13 y 14 respectivamente, se van a utilizar únicamente las puertas y ventanas de la planta de la vivienda como en el caso del periodo de calefacción, excluyéndose las ventanas del semisótano o garaje y la puerta del mismo.

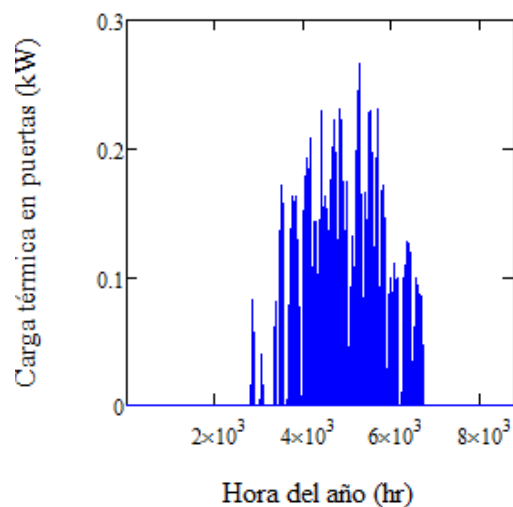


Gráfico 13. Carga térmica de transmisión en las puertas en el periodo de refrigeración.

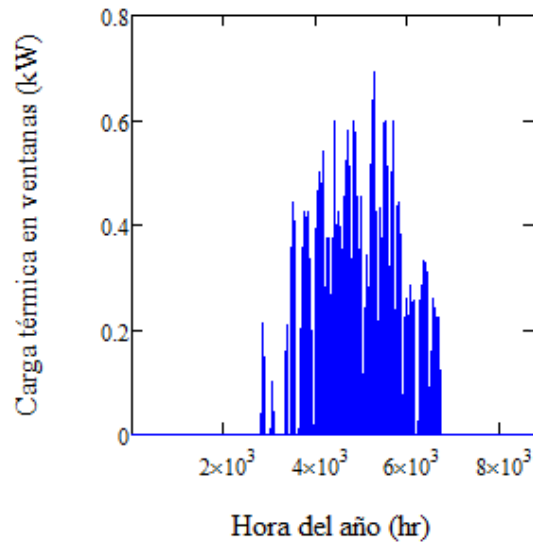


Gráfico 14. Carga térmica de transmisión en las ventanas en el periodo de refrigeración.

Del mismo modo que en el periodo de calefacción, la suma de todas estas cargas por transmisión, dará la carga total por transmisión que es la que muestra el gráfico 15.

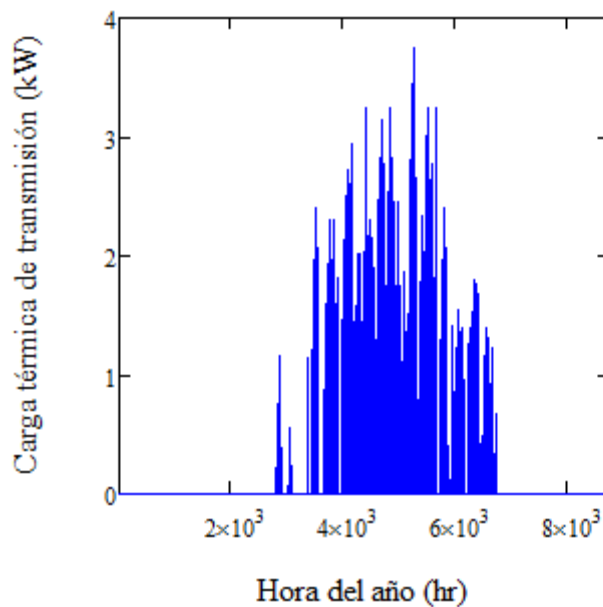


Gráfico 15. Carga térmica de transmisión en el periodo de refrigeración.

3.2.2. Carga térmica de ventilación.

Utilizando las ecuaciones 23 y 24 y los mismos datos de la figura 16 con los que se obtenía el caudal de ventilación en el periodo de calefacción y usando la humedad relativa del 40% en este periodo para el calor latente se obtendrá la carga térmica de ventilación, cuya evolución a lo largo del periodo de refrigeración se muestra en el gráfico 16.

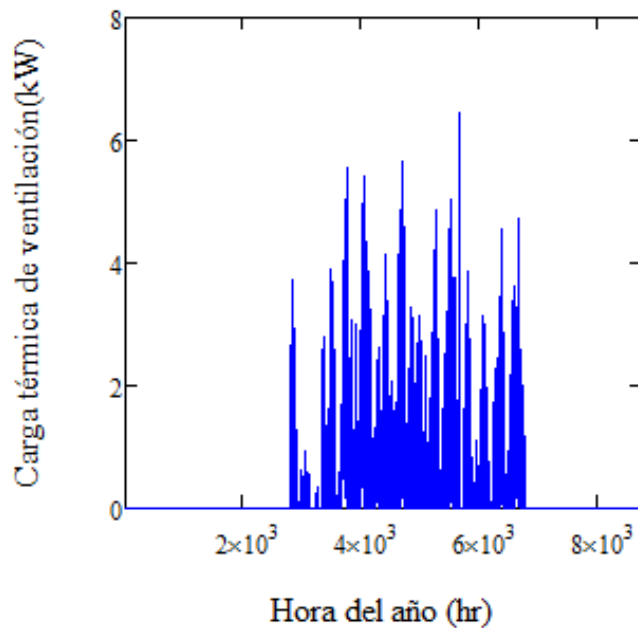


Gráfico 16. Carga térmica de ventilación en el periodo de refrigeración.

Se puede observar como para el caso del periodo de refrigeración el aporte de carga térmica debido al cambio de humedad aumenta en proporción al total de ventilación si se compara con el periodo de calefacción, gráfico 17.

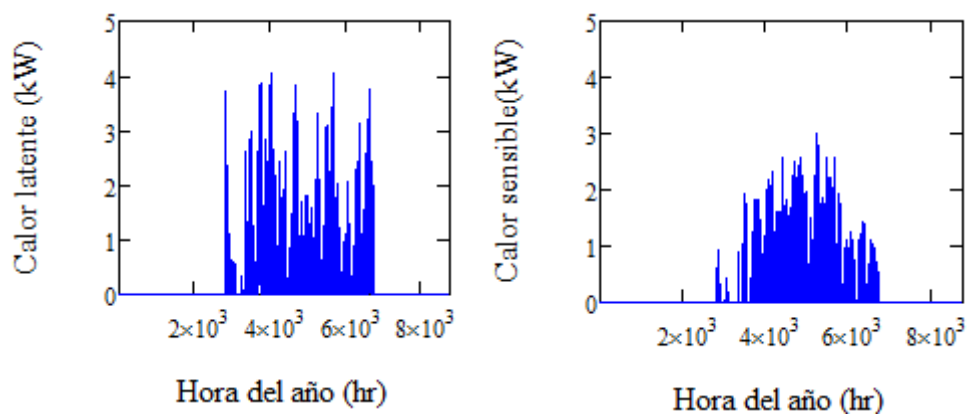


Gráfico 17. Comparación en aporte de calor latente y calor sensible.

3.2.3. Carga térmica por infiltraciones.

Las infiltraciones a través de puertas y ventanas en el periodo de refrigeración provienen en su mayoría de la acción del viento sobre la fachada expuesta al mismo. Los valores de las infiltraciones en puertas y ventanas son los mismos para refrigeración y calefacción ya que se considera en media una velocidad del viento en la zona igual para los dos periodos. El gráfico 18 muestra la evolución de la carga térmica por infiltraciones en el periodo de refrigeración.

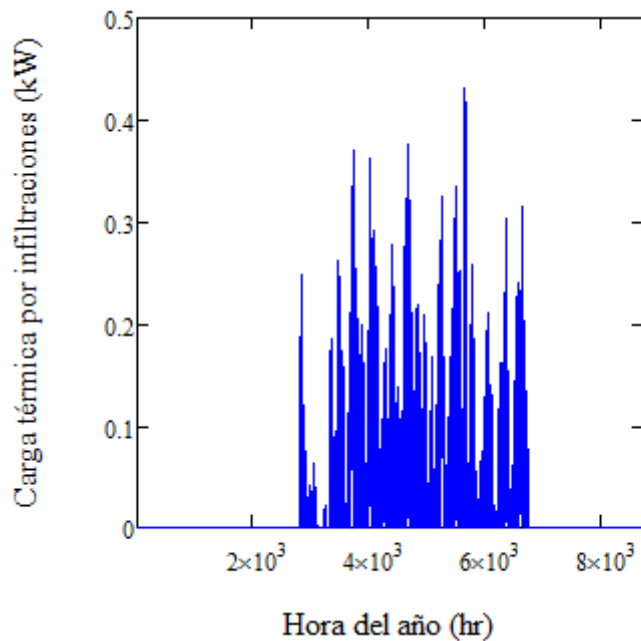


Gráfico 18. Carga térmica debida a las infiltraciones en el periodo de refrigeración.

Se observa un descenso apreciable en la carga térmica debido a las infiltraciones en el periodo de refrigeración.

3.2.4. Carga interna.

Se denomina carga interna a las cantidades de calor latente y sensible que se producen en el interior de los locales acondicionados emitidas por ocupantes, alumbrado, aparatos diversos, motores, etc.

Uno de los principales aportes en este tipo de cargas térmicas son los ocupantes de la vivienda. En el cuerpo humano se producen unas transformaciones exotérmicas cuya intensidad es variable según el individuo y la actividad a desarrollar. El cuerpo humano se mantiene a una temperatura de 37°C con una tolerancia muy pequeña, pero es capaz de mantenerla dentro de variaciones amplias de temperatura exterior, ya que es capaz de expulsar hacia el exterior una cantidad más o menos importante del calor desarrollado. Este calor al llegar a la epidermis se disipa por radiación a las superficies que le rodean, por convección hacia el aire ambiente, y por conducción a través de las superficies en contacto, aunque esta última situación es normalmente despreciable.

Los valores que se han utilizado para la ganancia debida a los ocupantes son 60 W de calor sensible y 70 W de calor latente. [15]. Estos datos han sido calculados para una hombre adulto de 68 kg. En el caso de la vivienda que se estudia se han considerado seis personas que residen en ella. Se ha definido un factor de simultaneidad, de forma que la carga térmica por la ocupación sea más real, ya que no todos los ocupantes van a estar todas las horas dentro de la vivienda. Este factor de simultaneidad se ha estimado en el 75%. La ecuación 25 muestra como se ha llevado a cabo el cálculo de la carga térmica, teniendo en cuenta el término que sería cambiante según fuera calor latente o sensible. Para ambos casos sería constante a lo largo del año en el mismo periodo.

$$Q_{ocupación} = Q_{lat/sen} f_{simult} n_{personas} \quad (Ec. 25)$$

Como se ha podido ver, esta carga de ocupación y ninguna carga interna han sido incluidas en el periodo de calefacción. Esto es debido a que en ese periodo estas cargas son consideradas ganancias térmicas, ya que los que se busca es calentar la vivienda con un sistema de calefacción y este tipo de cargas aportan calor a la vivienda. Se estudiarán únicamente en el periodo de refrigeración, ya que además del calor que hay que extraer de la casa deberemos extraer este calor para conseguir la temperatura de confort. Además se impondrá una condición por la que solo se tendrá en cuenta cuando la temperatura exterior sea mayor a la temperatura de confort, de ahí la forma que toman los gráficos en este tipo de carga térmica.

Otra fuente de calor importante en una vivienda, y en un local en general, es el alumbrado. El alumbrado constituye una fuente de calor sensible. Este calor se emite por radiación, convección y conducción. Se ha estimado la iluminación dependiendo de la superficie y el tipo de zona que iluminen, de esta forma en las zonas comunes se impondrán 10 W/m² y para el resto de zonas 20W/m². El calor aportado es igual a la potencia eléctrica de la lámpara. Además se ha introducido un factor de uso de la iluminación, que no está encendida durante las 24 horas, reduciendo su uso en un 50%. La ecuación para el cálculo de esta ganancia térmica se expresa en la ecuación 26.

$$Q_{\text{alumbrado}} = fI_{zc}A_{zc} + fI_{\text{resto}}A_{\text{resto}} \quad (\text{Ec. 26})$$

La última fuente de carga interna estudiada es la debida a la utilización de equipos y utensilios de diversas características. La mayor parte de los aparatos son, a la vez, fuente de calor sensible y latente. Los aparatos eléctricos solo emiten calor latente en función de su utilización, mientras que debido a la combustión los aparatos de gas producen calor latente suplementario. Estas ganancias en la mayoría de los casos se pueden disminuir por medio de campanas ventiladas mecánicamente que puede reducir hasta en un 50% el aporte de calor.

El cálculo de este tipo de ganancias se ha realizado con la ecuación 27, donde se ha tomado la potencia de los aparatos más típicos de ser utilizados en una vivienda y se ha multiplicado por el factor medio de uso de ese aparato.

$$Q_{\text{aparato}} = f_{\text{uso}}Q_{\text{aparato}} \quad (\text{Ec. 27})$$

Por la distribución de la casa se ha realizado un estudio con distintos tipos de aparatos, mostrados en la tabla 8.

Aparato	Factor de uso (horas por día)	Potencia (W)
Nevera	24	300
Vitro cerámica	4	1000
Horno	4	1495
Televisión grande	12	220
Televisión mediana	12	150
Televisión pequeña	12	100
Ordenador	12	150

Tabla 9. Factor de uso y potencia de los distintos aparatos.

Si se suman las tres cargas estudiadas anteriormente podemos concluir que la carga interna, debida a la utilización de la vivienda a lo largo del periodo de refrigeración es la que muestra el gráfico 19. En este gráfico se puede ver como es constante, ya que los tres casos de los que se componen son constantes. Las franjas blancas en este gráfico 19 serían horas en la que no sería necesaria la climatización por las condiciones exteriores.

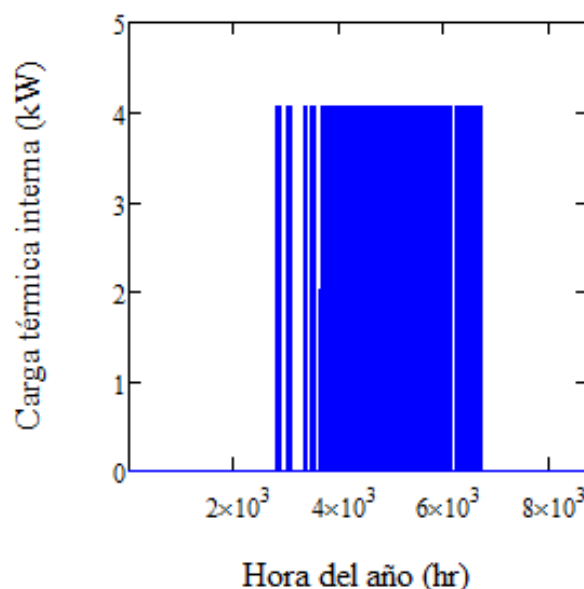


Gráfico 19. Carga térmica debida al uso de la vivienda. Carga interna.

3.2.5. Carga térmica debida a la radiación.

La intensidad de la radiación solar se encuentra entre 1395 W/m^2 el 21 de Diciembre, cuando la tierra está en su perihelio, y de 1308 W/m^2 en Junio, cuando está en su afelio. Estos son los límites superior e inferior de radiación solar, y en otras épocas, dependiendo del mes en el que se mida variará aproximadamente entre estos límites.

En este estudio se tendrá en cuenta la ganancia de calor a través de superficies de vidrio como son las distintas ventanas de la vivienda. La ganancia de calor a través de un vidrio ordinario depende de su situación geográfica (latitud), del instante considerado y, finalmente de su orientación. Se tendrán en cuenta las tres formas de radiación: directa, difusa y reflexión. La componente de radiación directa origina ganancia de calor en el espacio acondicionado sólo cuando la ventana es atravesada por los rayos solares, mientras que la radiación difusa origina ganancia de calor cualquiera que sea la posición de la ventana en relación con el sol. Por regla general el cristal absorbe una fracción de radiación solar del 5% y refleja o transmite el resto. La magnitud de calor reflejada y transmitida depende del ángulo de incidencia y el ángulo formado por la normal al cristal con la dirección de los rayos del sol. Al aumentar este ángulo, aumenta el calor el calor reflejado y disminuye el transmitido.

Para calcular la radiación incidente en la vivienda lo primero que se tiene que consultar es su situación geográfica. Se encuentra a una latitud de $40,35$ grados y una longitud de $-4,002$ grados. [16]. Otro aspecto a tener en cuenta es la inclinación es la inclinación de la pared respecto del suelo, que al ser las ventanas, será de 90 grados. Se procederá a calcular la declinación para cada día del año.

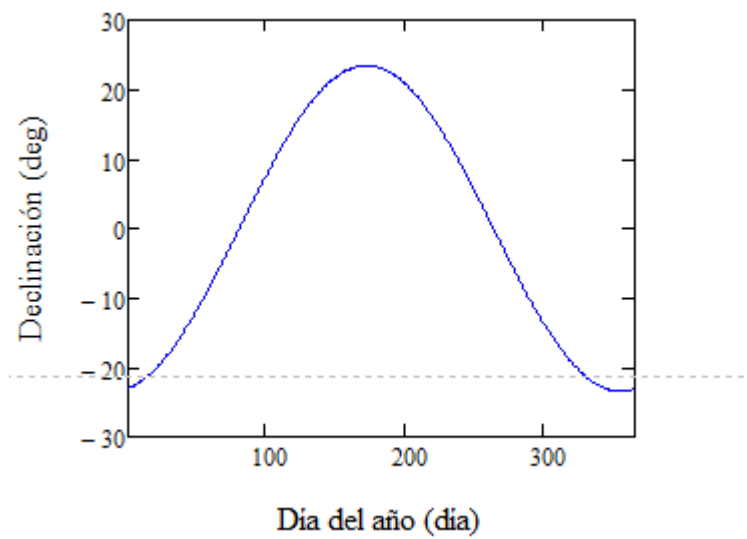


Figura 17. Declinación para cada día del año.

La declinación es el ángulo que forma el rayo solar con el plano del ecuador en cada época del año, su valor oscila a lo largo del año entre +23,45 y -23,45 grados que corresponden en el hemisferio norte con el solsticio de verano y solsticio de invierno respectivamente.

Otro parámetro necesario para calcular la radiación es el ángulo horario. El ángulo horario indica el desplazamiento angular del sol sobre el plano de la trayectoria solar. Se toma como origen del ángulo el mediodía solar y valores crecientes en el sentido del movimiento del sol de forma que cada hora corresponde a 15 grados. La figura 18 muestra su evolución a lo largo del día.

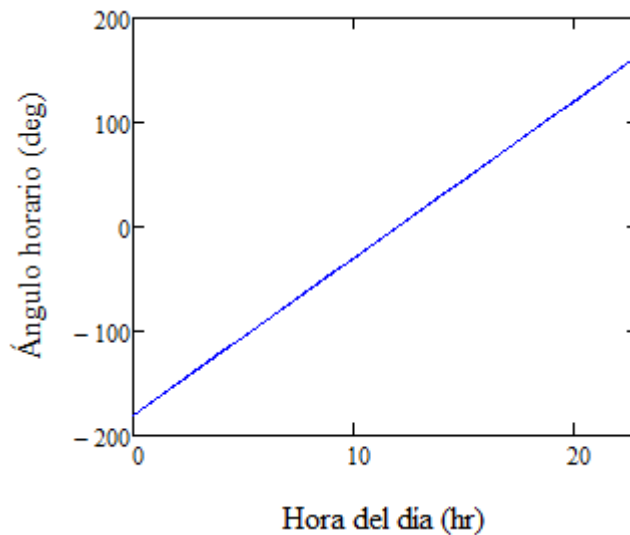


Figura 18. Evolución del ángulo horario.

Una vez se han calculado la declinación y el ángulo horario, se podría calcular la potencia máxima incidente como muestra la ecuación 28 y con ello se puede obtener utilizando la ecuación 29, la potencia incidente sobre un plano horizontal en la latitud considerada.

$$G_{on} = 1367 \left[1 + 0.033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \quad (Ec. 28)$$

$$G_0 = G_{0n}[\cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta)] \quad (Ec. 29)$$

Con todo lo expuesto hasta ahora se han obtenido parámetros para un plano horizontal en la latitud de la vivienda, pero como se puede apreciar, las ventanas de la vivienda no se encuentran en dicha posición.

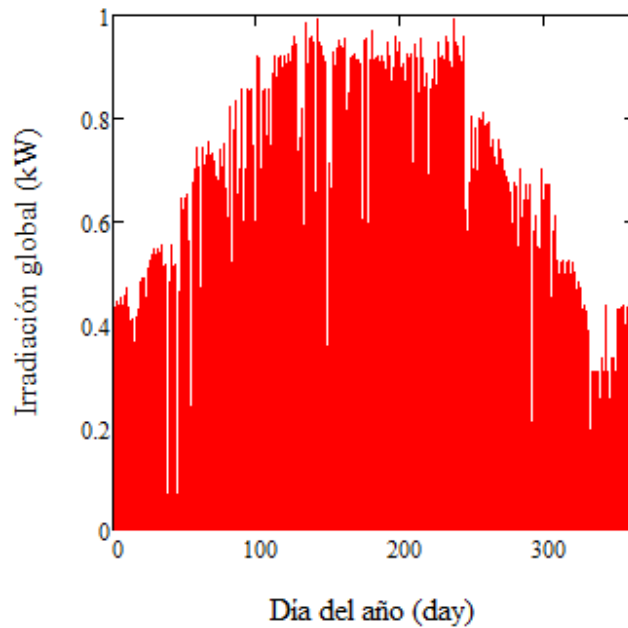


Gráfico 20. Irradiación global cada día del año.

Los datos de radiación se registran normalmente para un plano horizontal y en forma de radiación global como muestra el gráfico 20, sin distinguir componentes directa y difusa. La transformación al plano inclinado, en el caso de las ventanas de la vivienda 90 grados se hace a través de relaciones geométricas y factores de forma que requieren saber de dónde proviene la radiación. Se debe determinar cuánta radiación es difusa, cuánta es reflejada y la dirección de procedencia utilizando para ello diferentes correlaciones y modelos de cielo.

El modelo de cielo que se ha utilizado para los cálculos de radiación es el modelo isotrópico. Estos modelos consideran que la radiación difusa no tiene componente direccional, toda la radiación difusa es isotrópica. La ecuación 30 muestra la sencilla formulación matemática del mismo. La constante ρ es la reflectancia de la tierra en media cuyo valor se ha tomado 0,2. [17].

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho I \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (Ec. 30)$$

Para el cálculo de la fracción de radiación difusa se ha utilizado la correlación de Orgill y Hollands (1977), para la que es necesario un cálculo previo del índice de transparencia atmosférica que se utilizará en la correlación como parámetro. Este índice de transparencia atmosférica es el cociente entre la irradiación global y la potencia incidente sobre un plano horizontal a la latitud considerada. Se ha utilizado esta correlación, figura 20, por estar en base horaria, se podrían haber utilizado otras como las correlaciones de Erbs et al. (1982) y

Reindl et al. (1990). La fracción de radiación difusa se conseguirá multiplicando la radiación media por la correlación de la figura 19.

$$I_{doh_j} := \begin{cases} 1 - 0.249 \cdot k_{T_j} & \text{if } 0 \leq k_{T_j} \leq 0.35 \\ 1.557 - 1.84 \cdot k_{T_j} & \text{if } 0.35 \leq k_{T_j} \leq 0.75 \\ 0.6584 \cdot k_{T_j} - 0.3168 & \text{if } 0.75 \leq k_{T_j} \leq 2 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Figura 19. Correlación de Orgill y Hollands (1977).[18]

La radiación directa, se conseguirá como la diferencia entre la radiación media menos la radiación difusa anteriormente calculada por la correlación de Orgill y Hollands. Por último, la fracción de radiación que queda por calcular será la debida a la reflexión, que únicamente será la multiplicación de la reflectancia por la radiación global.

A la hora de calcular la radiación solar, se tendrá que diferenciar la cara de la vivienda sobre la que incide la radiación y esto se podrá llevar a cabo mediante unas correlaciones. Se tendrá una para cada orientación de la casa y con ellas se podrá obtener la radiación que incide realmente en cada cara de la vivienda, pudiendo posteriormente afinar más el cálculo de la radiación solar y con ello el cálculo de las cargas térmicas en el periodo de refrigeración. Las figuras 20 a 22 muestran estas correlaciones.

$$I_i := \begin{cases} \text{for } i \in 1.. \text{rows}(n_{rad}) - 1 \\ \left| \begin{array}{l} R_{d_i} \leftarrow \begin{cases} \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} & \text{if } [|\omega_i| < (0.86 \cdot \omega_{s_i})] \wedge \left(\frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} > 0 \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ I_i \leftarrow (I_{med_i} - I_{d_i}) \cdot R_{d_i} + I_{d_i} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I_{med_i} \cdot \rho_t \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \end{array} \right| \\ I_i \end{cases}$$

Figura 20. Correlación para la orientación sur.

Para la orientación Este, además de la correlación pertinente se tendrán que definir los ángulos de salida y puesta del Sol para esa orientación. Esto mismo ocurrirá en la orientación Oeste. Se ha calculado la radiación sobre superficies orientadas al Este y Oeste de la misma forma que se hace en el libro “Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica” de Miguel Alonso Abella. Se han tomado los ángulos de orientación positivos al Este y negativos al Oeste, tal como menciona el citado texto.

Ángulo de orientación: $\alpha_E := 90\text{deg}$

$$x_E := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\alpha_E) \cdot \tan(\beta)} + \frac{\sin(\phi)}{\tan(\alpha_E)} \quad y_E := \tan(\delta) \cdot \left(\frac{\sin(\phi)}{\sin(\alpha_E) \cdot \tan(\beta)} - \frac{\cos(\phi)}{\tan(\alpha_E)} \right)$$

Ángulo de salida del Sol:

$$\omega_{sE_j} := \min \left[\omega_{sh_j}, \arccos \left[\frac{-x_E \cdot y_{E_j} - \sqrt{x_E^2 - (y_{E_j})^2 + 1}}{x_E^2 + 1} \right] \right]$$

Ángulo de puesta del Sol:

$$\omega_{pE_j} := \min \left[\omega_{sh_j}, \arccos \left[\frac{-x_E \cdot y_{E_j} + \sqrt{x_E^2 - (y_{E_j})^2 + 1}}{x_E^2 + 1} \right] \right]$$

$$I_E := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{rows}(I_{med}) - 1 \\ \quad R_{de_i} \leftarrow \begin{cases} \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} & \text{if } (\omega_{sE_i} < \omega_i < \omega_{pE_i}) \wedge \left(\frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} > 0 \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \quad I_{E_i} \leftarrow (I_{med_i} - I_{d_i}) \cdot R_{de_i} + I_{d_i} + I_{r_i} \end{cases}$$

Figura 21. Correlación para la orientación Este.

Ángulo de orientación: $\alpha_O := -90\text{deg}$

$$x_O := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\alpha_O) \cdot \tan(\beta)} + \frac{\sin(\phi)}{\tan(\alpha_O)} \quad y_O := \tan(\delta) \cdot \left(\frac{\sin(\phi)}{\sin(\alpha_O) \cdot \tan(\beta)} - \frac{\cos(\phi)}{\tan(\alpha_O)} \right)$$

Ángulo de salida del Sol:

$$\omega_{sO_j} := \min \left[\omega_{sh_j}, \arccos \left[\frac{-x_O \cdot y_{O_j} + \sqrt{x_O^2 - (y_{O_j})^2 + 1}}{x_O^2 + 1} \right] \right]$$

Ángulo de puesta del Sol:

$$\omega_{pO_j} := \min \left[\omega_{sh_j}, \arccos \left[\frac{-x_O \cdot y_{O_j} - \sqrt{x_O^2 - (y_{O_j})^2 + 1}}{x_O^2 + 1} \right] \right]$$

$$I_O := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{rows}(I_{med}) - 1 \\ \quad R_{do_i} \leftarrow \begin{cases} \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} & \text{if } (\omega_{sO_i} < \omega_i < \omega_{pO_i}) \wedge \left(\frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta_i)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \cos(\omega_i) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_i)} > 0 \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \quad I_{O_i} \leftarrow (I_{med_i} - I_{d_i}) \cdot R_{do_i} + I_{d_i} + I_{r_i} \end{cases}$$

Figura 22. Correlación para la orientación Oeste.

Para la orientación Norte se puede concluir que la radiación que llega es la suma de la radiación directa más la radiación reflejada, ya que el Sol no incidirá nunca directamente en esta cara de la vivienda, pero no por ello está exenta de una fracción de radiación.

Una vez que se sabe qué cantidad de radiación llega en cada orientación se podrán calcular las cargas térmicas debidas a este fenómeno. La ecuación 31 será el método de cálculo de estas cargas térmicas debidas a radiación.

$$Q_{orientación} = F_{orientación} \cdot A_{ventana} \cdot I_{orientación} \quad (Ec. 31)$$

Donde el factor F se obtendrá de la forma que queda descrita en el CTE como muestra la ecuación 32.

$$F = F_s \cdot [(1 - FM)g_p + FM \cdot 0,04 \cdot U_{marco} \cdot \alpha] \quad (Ec. 32)$$

Donde F_s es el factor de sombra en función del dispositivo de sombra que se utiliza, F_M es la fracción de hueco ocupada por el marco, g_p es el factor solar de la parte semitransparente, El coeficiente global de transferencia de calor del marco y su absorptividad.

Para llevar a cabo este cálculo se tendrán que diferenciar los tipos de ventanas existentes en la vivienda y que tengan objeto ser estudiados. Se han diferenciado tres tipos de ventana, que son los tres diferentes tamaños de ventanas que se encuentran en la vivienda. Todas las ventanas están construidas en PVC con una conductividad de 0,19 W/mK [9]. La absorptividad del marco es de 0,5 [19] y el factor solar de la parte semitransparente, que son los mismos vidrios para todas las ventanas es de 0.8. [20]. LA tabla 9 indica los diferentes tipos de ventana, sus dimensiones de marco y ventana y su fracción de hueco ocupada por el marco.

Tipo	Número	Dimensión marco (m ²)	Dimensión cristal (m ²)	FM
1	10	0,625	1	0,385
2	2	0,587	1,35	0,303
3	2	0,55	1,25	0,44

Tabla 10. Características de los diferentes tipos de ventanas.

La figura 23, obtenida del Código Técnico de la Edificación, muestra los valores del factor de sombra debidos al retranqueo de las ventanas. Esta ha sido la forma de realizar el cálculo del factor de sombra para todas las orientaciones.

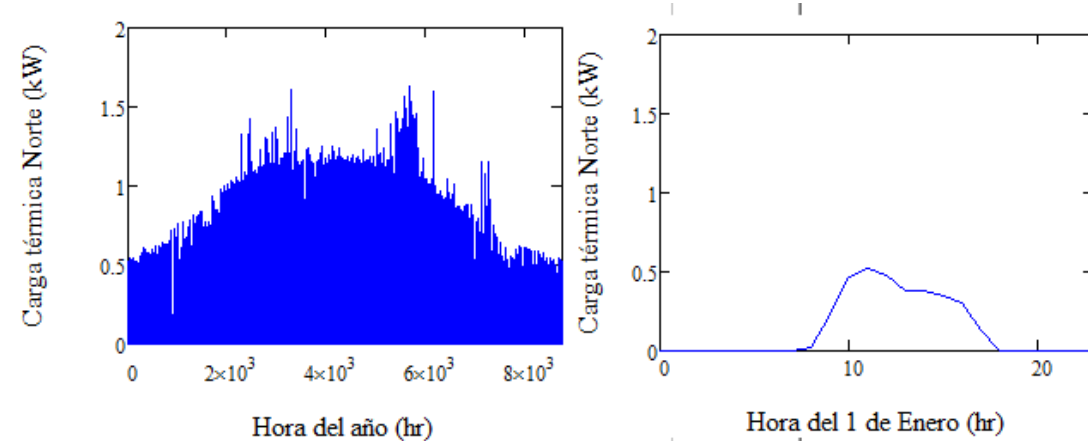
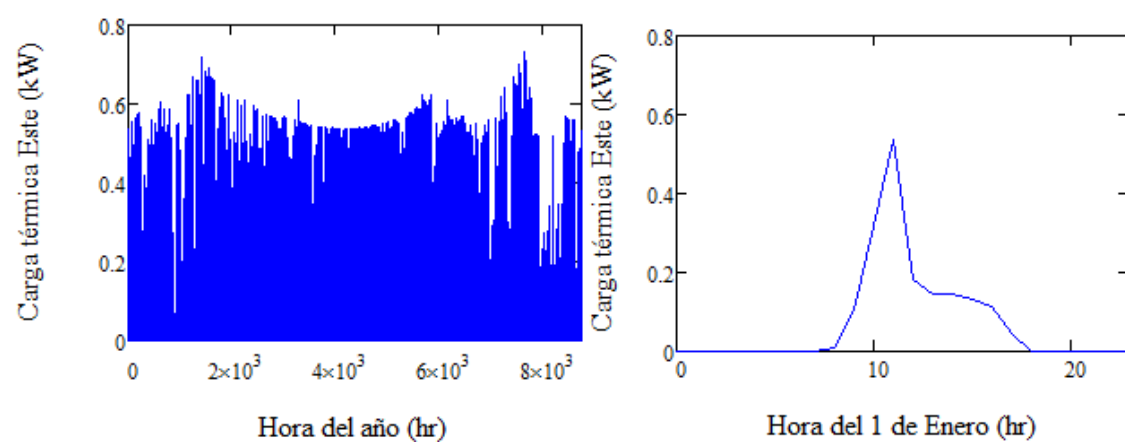
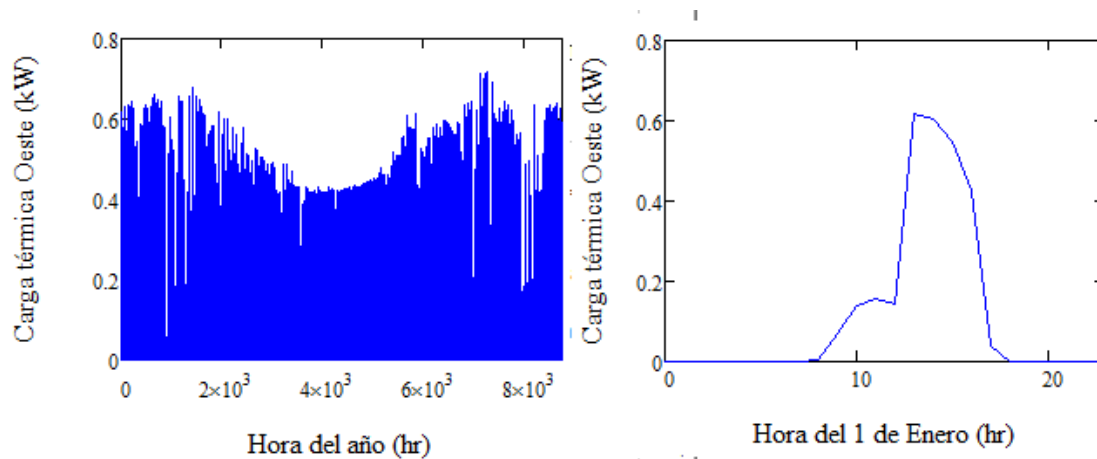
Diagrama de una ventana con retranqueo. Se muestra un perfil de ventana con dimensiones: R (retranqueo), W (ancho) y H (altura). Las flechas indican la dirección de la luz solar.

ORIENTACIONES DE FACHADAS

		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
	$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
	$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

Figura 23. Factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo. [6]

Al no contar la vivienda con ningún otro tipo de obstáculos en las ventanas, como pueden ser lamas, toldos, o no afectarles ningún tipo de voladizo será lo único a tener en cuenta para el cálculo del factor de sombra. Una vez calculado ese valor con las ecuaciones 31 y 32 mostradas anteriormente, se puede obtener la carga térmica por cada orientación. Los gráficos 21 a 24, muestran las diferentes aportaciones por orientación, y como sería esta un día de ejemplo, el 1 de Enero.



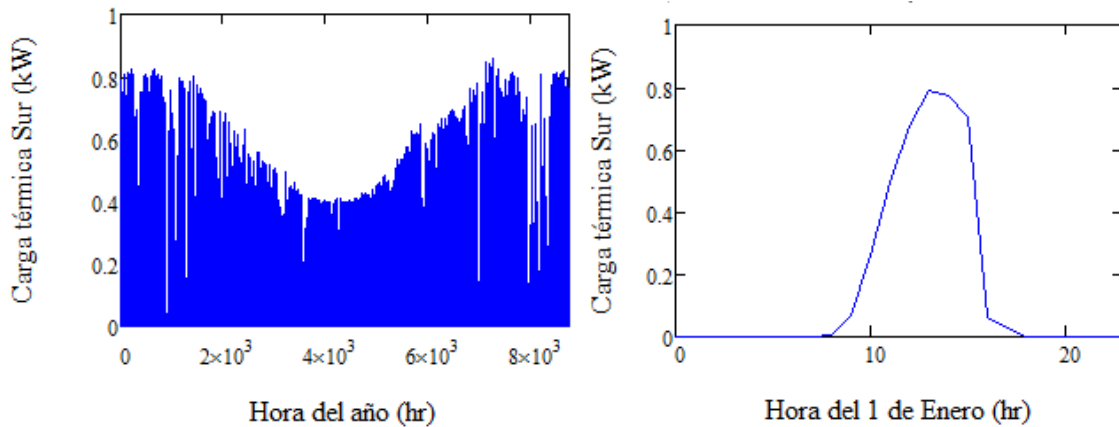


Gráfico 24. Evolución horaria de la carga térmica en la orientación Sur para el año y un día.

Una vez se tiene la carga térmica diferenciada según la orientación de la vivienda se podrá calcular la carga térmica total debida a la radiación, que será para cada hora del año en el periodo de refrigeración, la que muestra el gráfico 25.

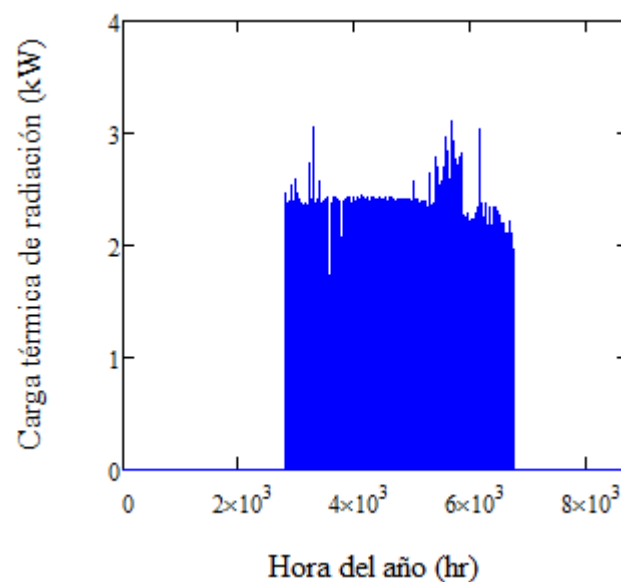


Gráfico 25. Carga térmica de radiación en el periodo de refrigeración

Con este estudio de la radiación para el cálculo de la carga térmica en el periodo de refrigeración se completa el estudio de este periodo. Por ello, haciendo uso de la ecuación 33, se obtiene la carga térmica total para el periodo de refrigeración.

$$Q_{refrig.} = Q_{transmisión} + Q_{ventilación} + Q_{infiltración} + Q_{interna} + Q_{radiación} \quad (Ec.33)$$

El gráfico 26 muestra la evolución horaria a lo largo del periodo de refrigeración de la carga térmica, pudiéndose observar el pico de toda la carga y ser utilizado para el dimensionamiento del equipo necesario para satisfacer la demanda durante el periodo, de forma que la climatización de la vivienda sea constante y no existan saltos en la temperatura de confort interior por falta de potencia del equipo encargado de llevar a cabo esta tarea. La potencia máxima que se distingue en la vivienda son 17,976 kW, que será la potencia mínima del equipo que tenga que refrigerar los espacios de la casa.

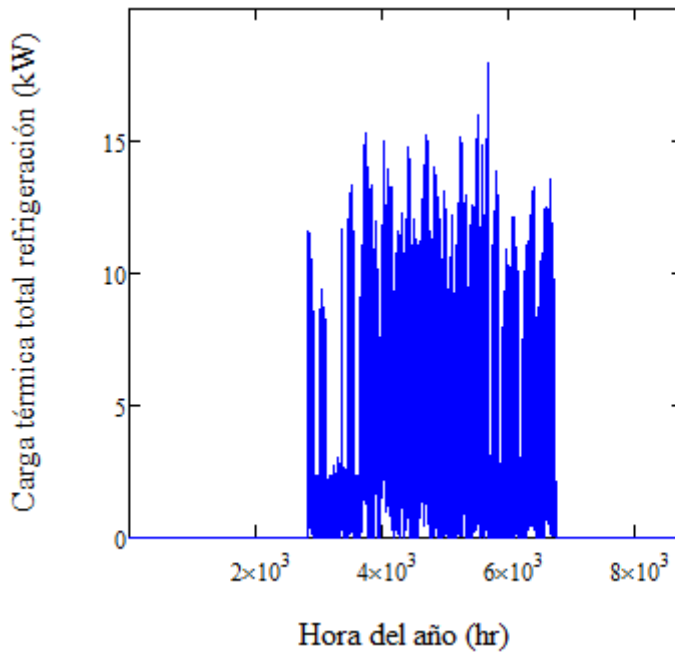


Gráfico 26. Carga térmica total en periodo de refrigeración.

Se debe tener en cuenta que de acuerdo con todo lo calculado anteriormente supone que el local se encuentra en condiciones de régimen permanente, sin embargo, en las instalaciones esto no es así, ya que la temperatura exterior seca varía a lo largo del día y sobre la pared, como se ha visto en las gráficas anteriores incide una radiación solar importante. De esta forma, al calor entrante por unidad de tiempo en el muro calculado hasta ahora, será necesario sumarle a todos los componentes de la carga térmica total una cantidad debida a la radiación sobre la superficie por el coeficiente de absorción.

Este intercambio se puede modelar expresando una temperatura denominada sol-aire, que recoge las aportaciones debidas a los efectos simultáneos de la temperatura exterior y la radiación solar incidente.

$$T_{sa} = T_{ext} + \frac{\alpha \cdot I_T}{h_e} \quad (Ec. 34)$$

La ecuación 34 muestra como es el cálculo de esta temperatura sol aire en la que se tiene en cuenta tanto la variación de la temperatura exterior como la variación de radiación solar incidente. El gráfico 27 muestra la diferencia entre la temperatura exterior (rojo), y la temperatura sol-aire (azul). Se puede apreciar que durante el periodo de refrigeración la diferencia de ambas es mínimo, solo algunos picos que representan unas horas concretas que no llevan a pensar que haya realmente una diferencia apreciable entre ambas. Por este motivo, no se tendrá en cuenta esta temperatura para el cálculo de la carga térmica de la vivienda, ya que los datos que se obtienen no varían en demasía con respecto al cálculo realizado a lo largo del texto.

Esta ganancia de calor, en el caso de estudio, despreciable en otras localizaciones o en otras climatologías puede producir lo que se conoce como la inercia térmica. El muro, por el hecho de estar expuesto a la radiación solar, almacena calor, que posteriormente se irá liberando poco a poco a lo largo de las horas que tengan temperaturas más bajas,

consiguiendo un efecto de amortiguamiento y un desplazamiento del máximo en el tiempo. A mayor inercia por parte del muro, más importante es este fenómeno.

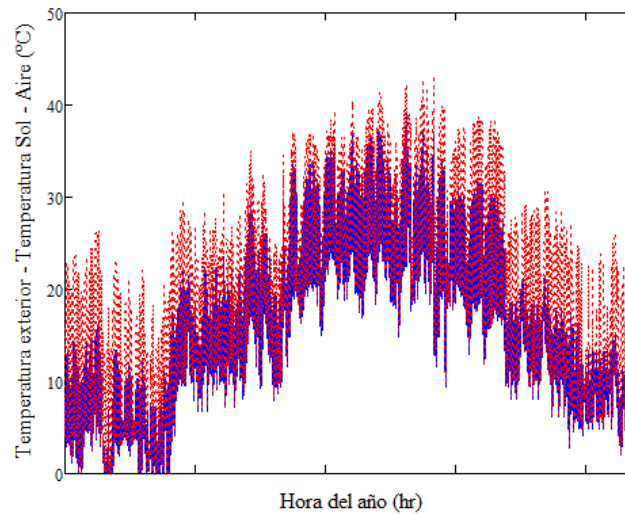


Gráfico 27. Diferencia de temperaturas exterior y sol aire a lo largo del año.

3.3. Carga térmica total a lo largo del año.

Con todos los datos que se han calculado en los apartados anteriores se puede obtener la carga térmica total anual que demandará el edificio de estudio, que se muestra en el gráfico 28.

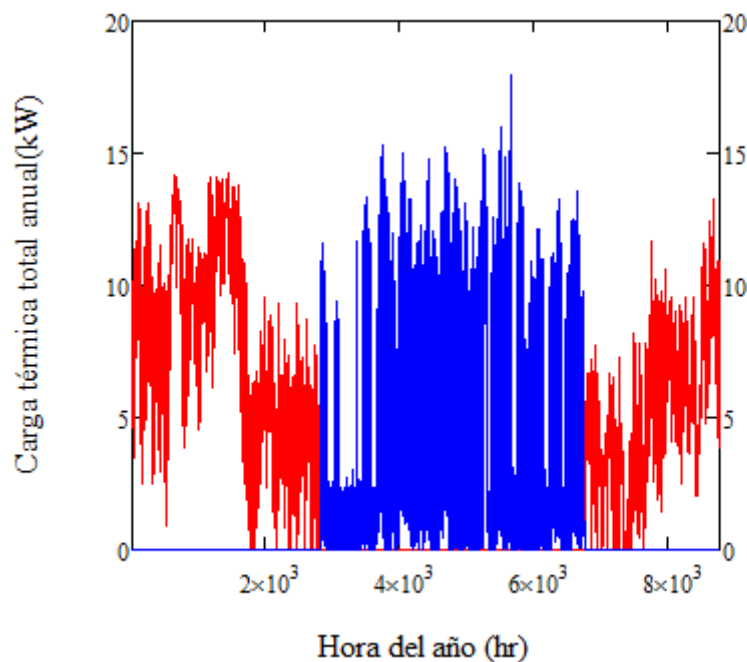


Gráfico 28. Carga térmica total anual de la vivienda.

Con el acondicionamiento del aire interior de la vivienda se podrán mantener las condiciones de confort y sanitarias más favorables para el ser humano. Para ello, deberá instalarse un equipo acondicionador que cubra la potencia máxima de la carga térmica, de modo que en la hora más extrema del año, tanto de frío como de calor, el interior se mantenga en esas condiciones para las que ha sido diseñado. El gráfico 28 muestra que la

carga térmica total anual mantiene sus máximos en torno a 15 kW tanto para verano como para invierno siendo un poco más alta la demanda en el periodo de refrigeración, que es donde se alcanza el máximo a lo largo de todo el año.

3.4. Carga térmica total anual en días tipo.

A continuación, se va a mostrar el estudio de cargas térmicas de diferentes días, característicos del año, para poder observar la diferencia entre ellos y con ello dejar la idea más clara de la diferencia de la carga térmica en distintas situaciones del año. Se escogerán cuatro días característicos, que corresponderán a un día central de cada estación. Independientemente de la estación, el día que se estudiará se intentará que sea soleado, para que tenga influencia el estudio de radiación que se ha hecho previamente, aunque en el periodo de calefacción no compute como carga térmica.

La primera estación en la que se va a seleccionar un día será invierno. Siguiendo el método astronómico de clasificación de las estaciones el invierno comienza alrededor del 7 de Noviembre en el hemisferio Norte y termina a principios de febrero. Para ver como evoluciona a lo largo la carga térmica en este periodo se ha seleccionado el día 27 de Diciembre.

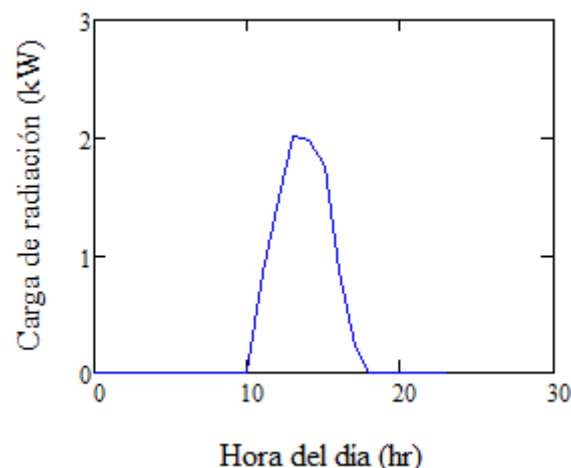


Gráfico 29. Carga térmica debida a radiación el 27 de Diciembre.

Aunque para este periodo no compute la radiación para el estudio de la carga térmica, ya que es periodo de calefacción, con el gráfico 29 se puede observar que el día fue soleado, que es una característica que se va a ver en el resto de días para que estén en las mismas condiciones. En el gráfico 30 se puede ver la evolución de la carga térmica a lo largo del día. La carga térmica se mantiene más o menos constante a lo largo del día con una oscilación entre 9 kW hasta 13 kW, máximo y mínimo del gráfico 30, siendo creciente por la tarde, desde la puesta del sol hasta el fin del día, el periodo más frío.

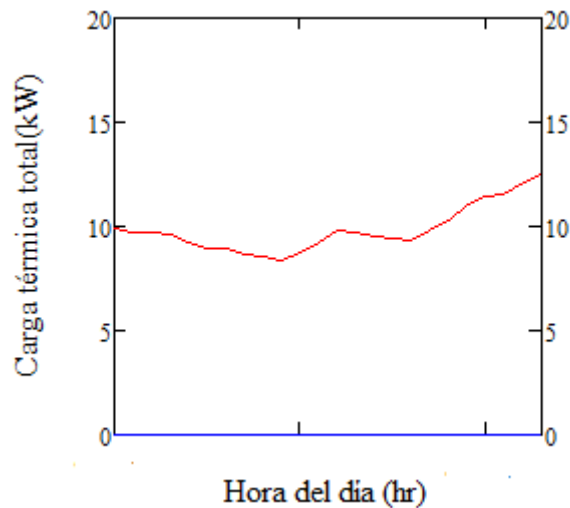


Gráfico 30. Evolución de la carga térmica el día 27 de Diciembre.

En primavera el método astronómico marca el comienzo alrededor de la primera semana de Febrero y termina con el solsticio de verano en el hemisferio norte. Para esta estación se ha seleccionado como día tipo el 12 de Abril.

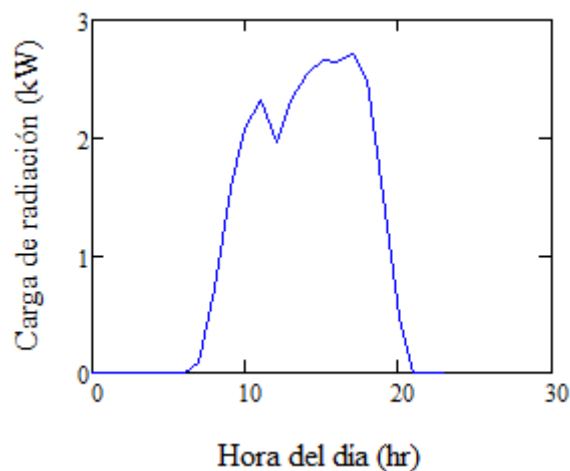


Gráfico 31. Carga térmica debida a radiación el 12 de Abril.

El 12 de Abril por la evolución de la carga debida a radiación, aunque no computa para el cálculo en periodo de calefacción, muestra un día soleado excepto desde aproximadamente las diez de la mañana hasta las 12 del mediodía que el pico nos indica la existencia de nubes, y por tanto un descenso en la radiación sobre la vivienda.

Observando el gráfico 31 se puede saber que se refiere a otra época del año, si se compara con el anterior gráfico 29 que mostraba un día de invierno. El máximo, que se da un poco antes de la salida del sol son alrededor de 7,5 kW aproximadamente la mitad que en el caso anterior y por la tarde se puede ver que la vivienda no necesita calefacción, ya que la temperatura exterior será mayor que la interior, o como mínimo la misma debido a diversos factores climatológicos. En esas horas, el consumo de la casa es de 0 kW, no se está gastando ningún tipo de energía para su climatización.

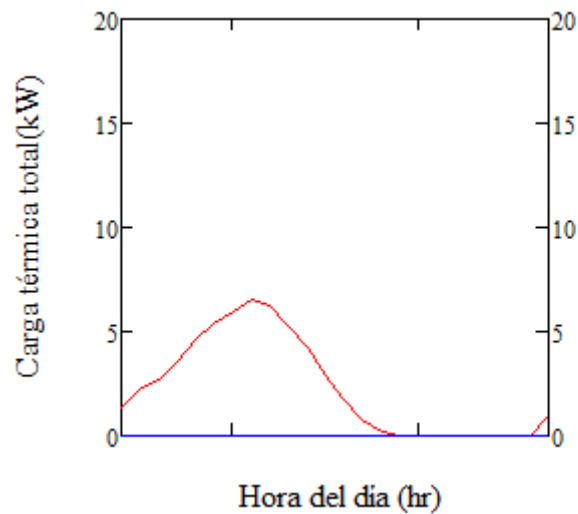


Gráfico 32. Evolución de la carga térmica el 12 de Abril.

El verano se distribuye desde principios de Mayo a Agosto. El verano es la época de más altas temperaturas por lo que el estudio nos dará alta carga debida a radiación, que será la época del año en sea mayor. Esta radiación del gráfico 33 se deberá incluir en el cómputo para la carga térmica global en ese día, ya que se encuentra en el periodo de refrigeración.

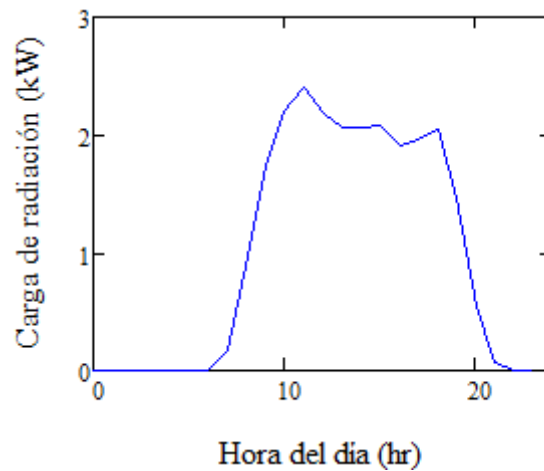


Gráfico 33. Carga térmica debida a radiación el 27 de Julio.

Comparando con los casos anteriores lo primero que salta a la vista es el aumento de horas de sol respecto de la primavera y del invierno mientras que la radiación solar es similar en máximo a la de primavera. El gráfico 34 muestra la evolución de la carga térmica el día 27 de Julio. Durante todo el día se está consumiendo energía para la climatización, esto es que la temperatura exterior siempre es mayor que la temperatura de confort para la que se ha diseñado la instalación. Esta carga térmica es muy baja en el periodo nocturno y llega hasta los 13 kW aproximadamente durante la tarde, en parte debido al amortiguamiento y a la retención del calor en los elementos constructivos de la vivienda. En el gráfico 34 se puede diferenciar muy bien el día de la noche, donde las temperaturas son más bajas y será necesaria menos energía para la climatización de la vivienda.

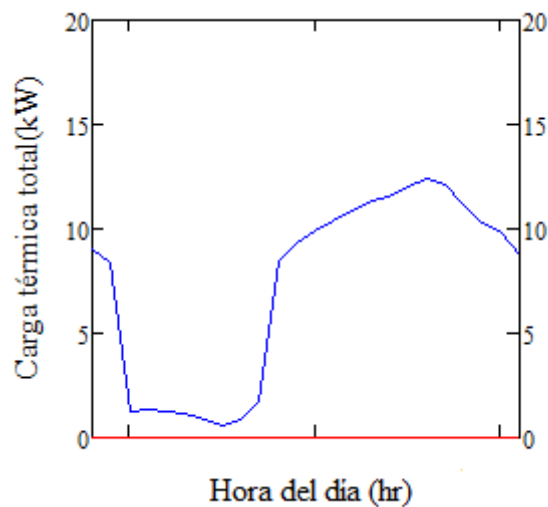


Gráfico 34. Evolución de la carga térmica el 27 de Julio.

Por último se va a analizar un día de otoño para que se puedan ver las diferencias con las otras estaciones del año. El otoño tiene su inicio en Agosto y su final en Noviembre, y es el paso entre el verano y el invierno. En esta estación según lo cerca al periodo invernal o al periodo estival se obtendrá refrigeración o calefacción, depende de si se encuentra dentro del rango seleccionado como periodo de calefacción o refrigeración.

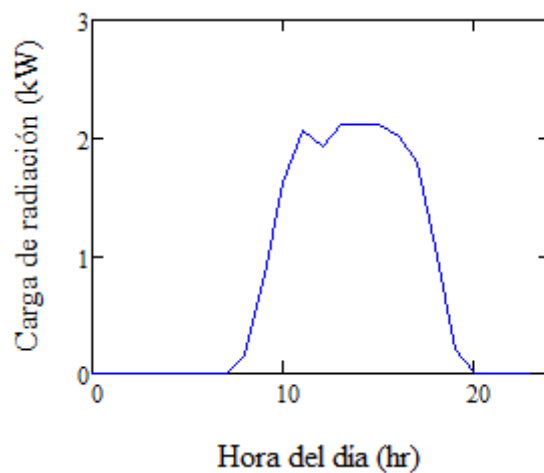


Gráfico 35. Carga térmica debida a radiación el 2 de Octubre.

Del gráfico 35 se puede observar que la radiación inferior a la del día de verano y que la duración del día, aunque todavía es duradero, no lo es tanto como en verano. El gráfico 36 que muestra la evolución de la carga térmica el día 2 de Octubre. Se puede ver como aún sigue siendo en el periodo de refrigeración, finales de este, y comparándolo con el verano se puede ver que los finales del día son menos calurosos, a las 0 horas desciende la temperatura y aunque sea necesaria la climatización, no con la misma potencia que en un día de verano. Por la tarde sin embargo, se puede ver que las temperaturas son veraniegas y es necesaria prácticamente la misma potencia de refrigeración, con lo que se puede concluir que la

diferencia principal es la caída de la temperatura por la noche, que hace que no sea necesaria tanta potencia para la refrigeración en el periodo entre las 22 y las 2 horas.

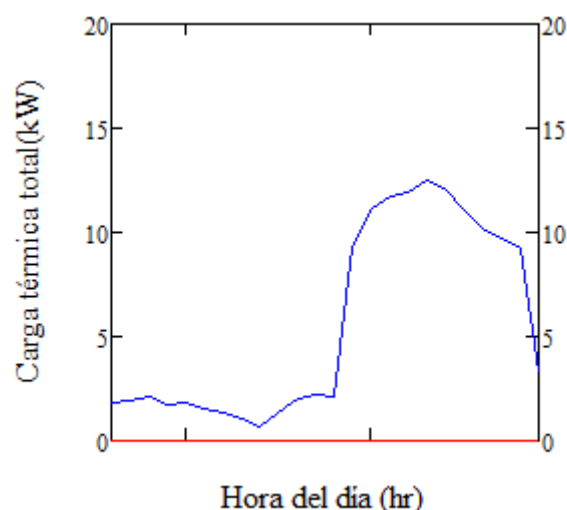


Gráfico 36. Evolución de la carga térmica el día 2 de Octubre.

4. ESTUDIO DEL ESPESOR ÓPTIMO DE AISLANTE.

Para concluir el estudio de la climatización de la vivienda, se va a proceder a calcular cual sería el espesor óptimo de aislante para minimizar el coste energético de la vivienda. Para este cálculo es necesario tener en cuenta los aspectos económicos y energéticos. Por un lado, la colocación de aislamiento produce un ahorro energético, y por otro lado genera gasto por el precio de compra y coste de fabricación.

El primer paso que se tendrá que dar para poder tener en cuenta aspectos económicos es el dimensionado de los equipos de refrigeración y calefacción, de esta forma conociendo el Coeficiente de Operación en el equipo de refrigeración y el rendimiento sobre el PCI en la caldera encargada de la calefacción se podrá cuantificar económicamente la energía consumida.

La energía consumida anualmente por la vivienda teniendo en cuenta los dos periodos de refrigeración y calefacción es de 1829×10^{11} Julios, que es la suma de la energía consumida en cada día.

Para poder ver el coste de la climatización se tendrán que dimensionar los equipos. El equipo de refrigeración seleccionado ha sido el modelo Astun ECO 50TZ060 de la firma Carrier. Esta unidad tiene una potencia de 14,8 kW pudiendo a llegar en periodos de alta necesidad a desarrollar el 125% de su capacidad. Al ser la potencia media de refrigeración de aproximadamente 5 kW se ha seleccionado este modelo para poder cumplir con la demanda y en picos de carga térmica, con ese 25% más de potencia podría completar su tarea en refrigeración. Este aparato funciona con corriente eléctrica, así que se aplicarán las tarifas actuales de coste de electricidad en una vivienda unifamiliar que es de 0,140069 €/kWh [21]. Al conocer el Coeficiente de Operación de la máquina, 2,57, Se puede obtener la energía eléctrica consumida por el aparato que multiplicando por el precio de la electricidad

obtenemos que la refrigeración de la vivienda supone un coste anual, utilizando el espesor de aislante de los datos de construcción, de 1050 euros cada año.

Para el periodo de calefacción será necesario instalar una caldera que tenga como mínimo la máxima potencia demandada por la vivienda. El equipo que se ha seleccionado ha sido una caldera de 32 KW para calefacción y agua caliente modelo ISOFACT N, de la marca Saunier Duval para su uso con gas natural. Al conocer, mediante la hoja de características del fabricante, su rendimiento sobre el PCI del 90%, el PCI del gas natural y su densidad [22], se puede calcular el volumen de gas natural anual que se consume, 4100 m³, con todo ello se obtiene que el gasto en calefacción es de 2189 euros anuales.

Así podemos concluir que el gasto anual de climatización de la vivienda con los datos constructivos que muestra el proyecto, sin tener en cuenta la amortización de los equipos y sus costes de instalación, así como los costes derivados del aislante, anualmente, en combustible y electricidad para su climatización la casa gasta 3239 euros al año.

4.1. Optimización del espesor de aislante. Método 1.

La optimización del espesor de aislante se abordará desde varios puntos de vista. El primer estudio que se va a realizar, que por otro lado es el más sencillo, solo tendrá en cuenta el espesor, el coste de la inversión y el coste anual en climatización. Para ello se irá aumentando el espesor del aislante de la vivienda, aumentando con ello el precio del aislante y se añadirá otra variable, el coste debido al suelo perdido en la vivienda. Estos dos factores representarán en este caso el coste de la inversión. Por otro lado esto revierte en un ahorro en la climatización debido al aumento del espesor de aislante. El punto en el que confluyan ambas curvas, será el óptimo que se busca con este estudio. El gráfico 37 muestra el resultado.

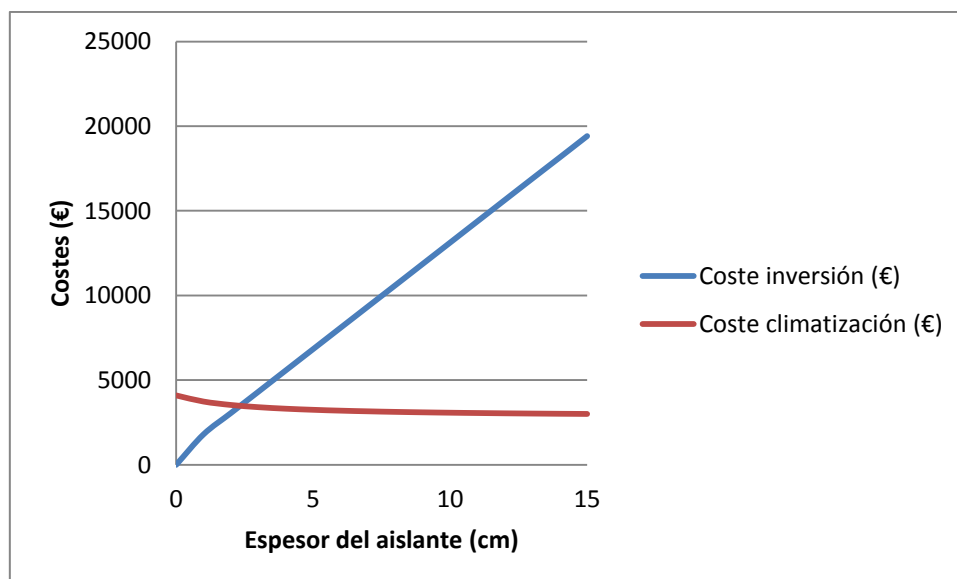


Gráfico 37. Optimización del espesor de aislante. Método 1.

En el gráfico 37 se puede ver como el coste de la inversión tiene un aumento prácticamente lineal a medida que se aumenta el espesor de aislante. Por otro lado, el coste de la climatización disminuye ligeramente al principio hasta que pasa a ser prácticamente constante. El punto de corte de ambas curvas, que representará el óptimo de aislante se da

para un espesor de 3,45 cm, que sería el espesor óptimo que se debería instalar para mantener la vivienda climatizada con una menor inversión. Tanto para este caso como para los siguientes el precio del aislante es de 2,79 €/m² para 2 cm de espesor, y con los datos de catálogo de diferentes fabricantes se ha estimado un aumento del 4% del precio por cada metro cuadrado al aumentar un centímetro de espesor. Por otro lado, el precio del suelo que se ha utilizado para este estudio se ha estimado en 2000 €/m², consultando diferentes los diferentes precios de las viviendas en la zona. El bajo espesor obtenido por este método puede estar debido a la no inclusión de intereses en el cálculo o a la falta de costes como pueden ser los de instalación, entre otros.

4.2. Optimización del espesor de aislante. Método 2.

Otra forma de calcular el espesor óptimo de aislante, desde un punto de vista más económico que en el caso anterior es el que se realizará a continuación. Para ello, será necesario explicar previamente unos conceptos económicos básicos para el cálculo de rentabilidad en proyectos.

Uno de los conceptos que se va a utilizar es el valor actual neto (VAN). El valor actual neto permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros originados por una inversión. Es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el instante inicial de los flujos de efectivos futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Si su valor es mayor que cero el proyecto es rentable siendo normalmente la alternativa con el valor actual neto más alto la mejor solución. La ecuación 35 muestra el método de cálculo de este parámetro económico.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (Ec. 35)$$

Si se observa la ecuación 35 en el caso que se está estudiando los flujos de caja (FC) será el ahorro proporcionado cada año en la climatización de la vivienda respecto el coste anual de la climatización de la vivienda sin aislante. El interés (i), es un índice utilizado para medir la rentabilidad de los ahorros. Para este proyecto se estudiarán tres escenarios económicos con distinto interés: favorable, moderado y desfavorable. Por último, n , es el número de periodos considerados para el cálculo de la rentabilidad del proyecto, para el caso que se está estudiando se considerarán 50 años.

El otro concepto económico para medir la rentabilidad de un proyecto es la tasa interna de rentabilidad o retorno (TIR). Se define como la tasa de interés con la cual el valor actual neto tiene valor cero. En este indicador, a mayor TIR, mayor rentabilidad. La tasa interna de rentabilidad se compara con una tasa, como el interés en este caso, y si la supera se puede aceptar la inversión, en caso contrario se rechaza.

Para calcular la rentabilidad de la instalación de aislante térmico se utilizarán estas herramientas económicas que ayudarán a la decisión sobre cuál será el espesor óptimo para el que se hace la inversión. El espesor que se tomará como óptimo utilizando este método será el de mayor valor actual neto en el periodo de 50 años siempre y cuando la tasa interna de rentabilidad sea mayor o igual que el interés utilizado para su cálculo.

4.2.1. Escenario económico desfavorable. Interés del 2%.

Un escenario desfavorable son intereses bajos. A la hora de calcular el valor actual neto, el interés será del 2%. La tabla 10 muestra el valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad para los distintos espesores en este escenario.

Espesor (cm)	Valor actual neto (€)	Tasa interna de rentabilidad (%)
1	9792,31	18
2	15007,57	16
3	17896,49	14
4	19497,04	12
5	20344,42	10
6	20688,02	9
7	20686,97	7
8	20467,95	6
9	20056,38	5
10	19519,13	4
11	18856,18	-
12	18130,38	-
13	17341,73	-
14	16468,81	-
15	15585,89	-

Tabla 11. Valor actual neto y tasa interna de rentabilidad según el espesor para un escenario económico desfavorable.

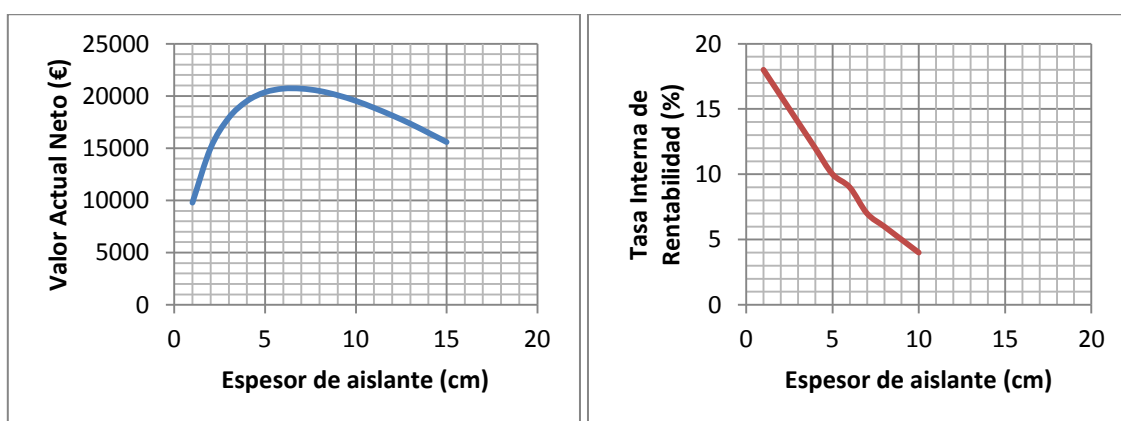


Gráfico 38. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico desfavorable.

Como se puede ver en la tabla 10 y el gráfico 38 el espesor óptimo para esta situación es 6 centímetros. El valor actual neto tiene su máximo en 6 centímetros y la tasa interna de rentabilidad, que no es la mayor, ya que es siempre decreciente a medida que se aumenta el espesor de aislante, pero si es superior al 2% de interés que se había propuesto en este escenario económico. Se puede observar como el valor actual neto para espesores pequeños y grandes es pequeño, a los 50 años no se ahorra demasiado, mientras que con espesores intermedios se consigue un ahorro en los 50 años considerable.

El gráfico 39 muestra la evolución del Valor actual neto a lo largo de los 50 años. Se puede desprender de este que la recuperación del capital invertido se recupera alrededor de los 11

años de la ejecución del proyecto de aislamiento, siendo a partir de ese mismo instante rentable para la persona que hace esa instalación en su vivienda.

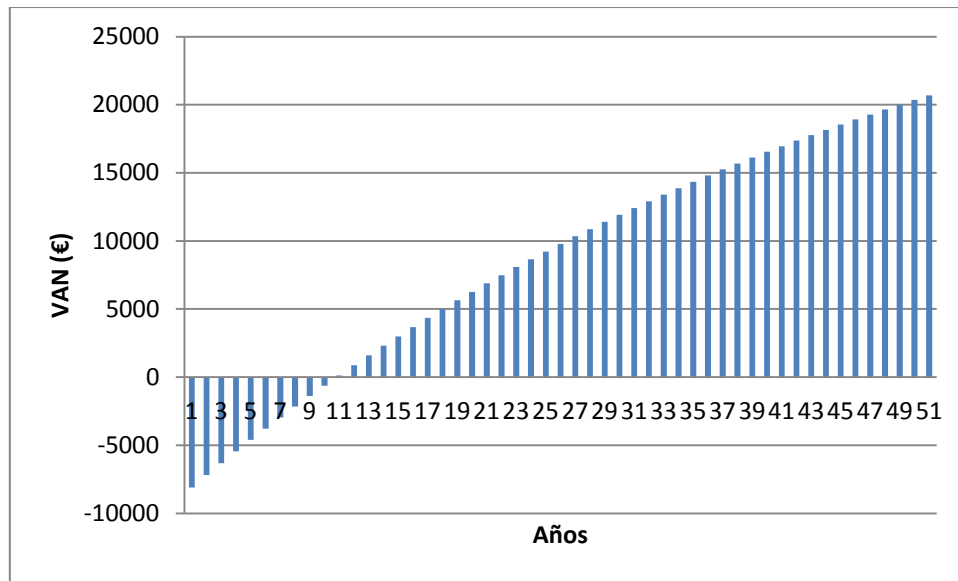


Gráfico 39. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años.

4.2.2. Escenario económico moderado. Interés del 4%.

Un escenario moderado sería el que los intereses se encuentran alrededor del 4%. La tabla 12 muestra como el valor actual neto y la tasa de rentabilidad interna de cada espesor proporcionando una forma de medir la rentabilidad y viabilidad del proyecto de aislamiento.

Para esta situación de interés moderado del 4% el espesor óptimo de aislante será el de 5 centímetros. Con este espesor obtenemos el valor neto actual más alto de los 15 espesores al final de los 50 años y la tasa interna de rentabilidad es del 8%, por encima de la de referencia. El gráfico 40 muestra como es la evolución de la tasa interna de rentabilidad y del valor actual neto desde 1 a 15 centímetros donde se ve que entre los valores de espesor de 4 a 7 son los de mayor VAN con tasas de rentabilidad superiores a la de referencia.

Espesor (cm)	Valor actual neto (€)	Tasa interna de rentabilidad (%)
1	6123,93	16
2	9291,26	14
3	10867,90	12
4	11563,78	10
5	11745,01	8
6	11581,68	6
7	11182,97	5
8	10635,88	4
9	9955,89	3
10	9189,98	2
11	8338,15	0
12	7443,35	-
13	6505,58	-
14	5513,37	-
15	4511,15	-

Tabla 12. Valor actual neto y tasa de rentabilidad interna para los distintos espesores de aislante en un escenario moderado.

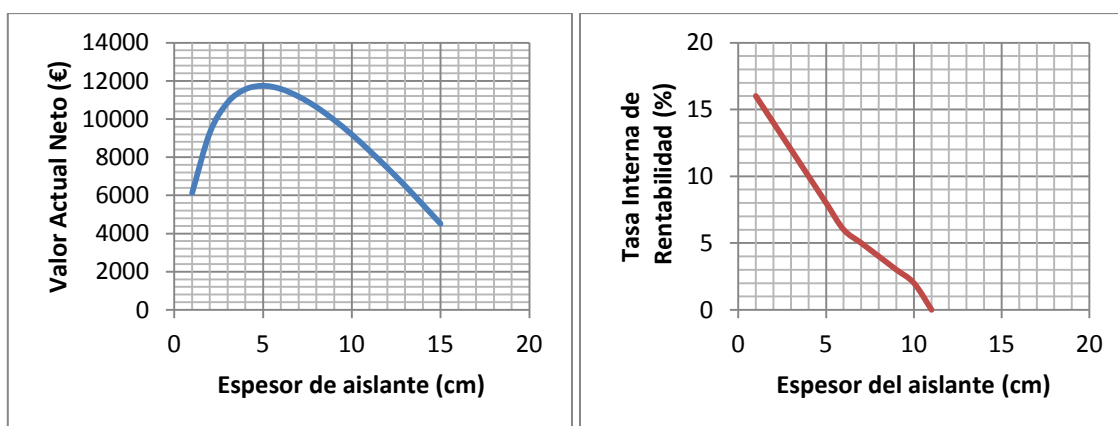


Gráfico 40. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico moderado.

El gráfico 41 muestra como es la evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años para el espesor de 5 centímetros seleccionado como óptimo para la inversión en aislante. De este gráfico se puede concluir que la recuperación de la inversión, el momento en el que no se gana nada, pero que tampoco se pierde se da entre el décimo y el undécimo año desde la instalación del aislante.

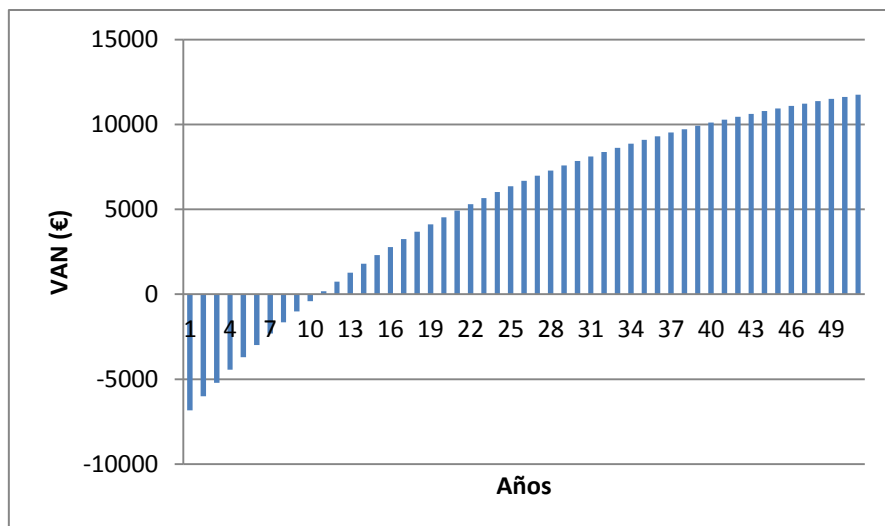


Gráfico 41. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años en un escenario económico moderado.

4.2.3. Escenario económico favorable. Interés del 7%.

Una situación favorable se daría con intereses del orden del 7%. Con estos intereses una inversión es más cuestionable, ya que cualquier entidad bancaria con este interés ofrecería mucha rentabilidad sin riesgo ninguno. Como en el caso que nos ocupa no solo tiene importancia la rentabilidad de la instalación del aislante, sino que también tiene mucha importancia el confort en la vivienda, se realizaría esta instalación, también contando con que el escenario económico puede cambiar de forma radical. La tabla 12 muestra los valores de la tasa de rentabilidad interna y el valor actual neto para los distintos espesores de aislante.

Espesor (cm)	Valor actual neto (€)	Tasa interna de rentabilidad (%)
1	3289,48	12
2	4874,43	11
3	5437,12	8
4	5433,99	6
5	5100,64	4
6	4545,48	2
7	3839,51	1
8	3038,93	-
9	2151,56	-
10	1208,98	-
11	211,19	-
12	-814,18	-
13	-1867,19	-
14	-2951,58	-
15	-4045,97	-

Tabla 13. Valor actual neto y tasa de rentabilidad interna para los distintos espesores de aislante en un escenario favorable.

En este tipo de escenario se dan recuperaciones de inversión muy rápidas con alta tasa de rentabilidad y bajo valor actual neto como en el caso de 1 cm que no son aceptables, otra moderada, 3 centímetros, donde el valor actual neto es el mayor de los espesores y la tasa interna de rentabilidad está por encima del 7% pero el confort en el hogar puede verse dañado

por el poco espesor, que en un futuro podría conllevar más gastos en la climatización. También se pueden ver tanto la recuperación de la inversión en el año propuesto de amortización de la vivienda, y como puede ser una inversión en aislante no rentable. El gráfico 42 muestra el valor del VAN y de la TIR para los 15 centímetros de espesor estudiados.

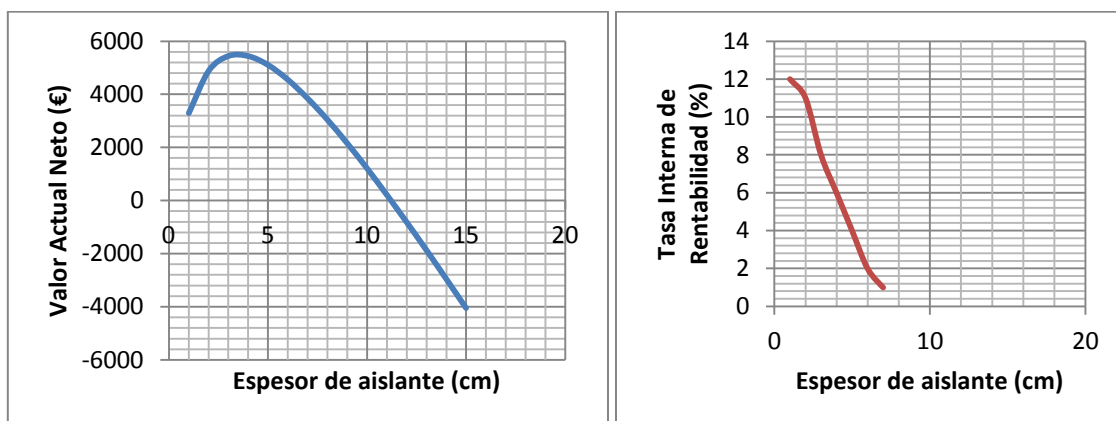


Gráfico 42. Evolución del VAN y la TIR para los distintos espesores de aislante en un escenario económico favorable.

En el gráfico 42 se puede ver que a medida que se aumenta el espesor a partir de los 4 centímetros el valor neto actual cae considerablemente. De este estudio se desprende que en condiciones favorables el espesor óptimo de aislante es de 3 centímetros. El gráfico 43 indica la evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años para este espesor óptimo. Se ha propuesto como espesor óptimo por tener el valor actual neto mayor y ser su tasa interna de rentabilidad superior al interés del 7%. Se recuperaría la inversión inicial alrededor de los 10 años.

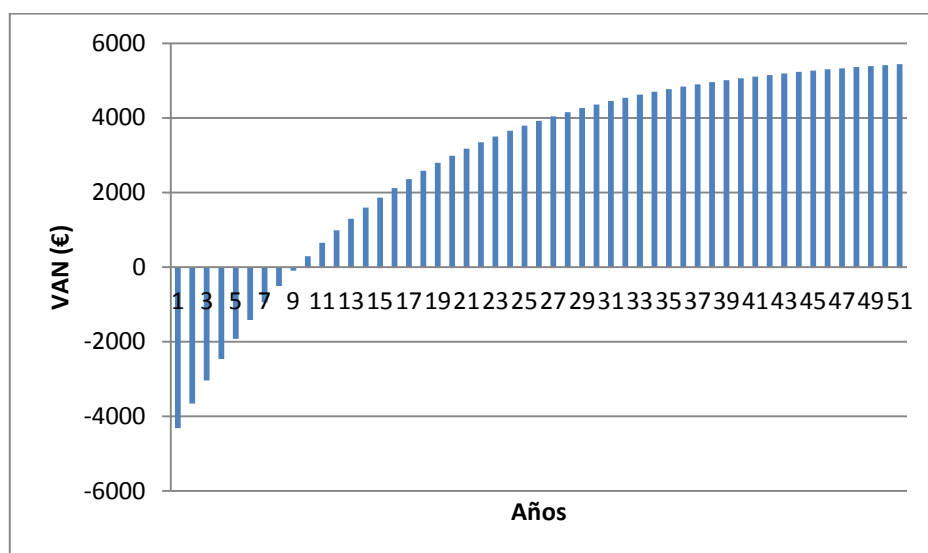


Gráfico 43. Evolución del valor actual neto a lo largo de los 50 años en un escenario económico favorable.

El gráfico 44 muestra una situación que podría ser interesante en este caso, sería para un espesor de 11 cm, en el que se recupera la inversión a los 50 años de haber sido instalada, con lo cual no se pierde dinero por la instalación, y aunque no se consiga un beneficio por la

instalación del aislante, en un periodo de cincuenta años en el que se ha basado la amortización de la casa se conseguiría una recuperación de la inversión.

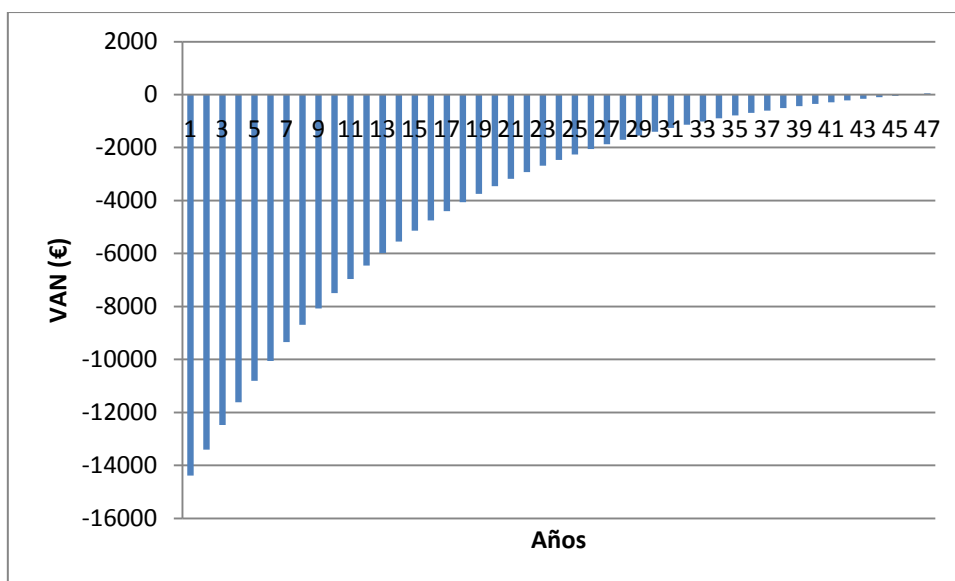


Gráfico 44. Evolución del valor actual neto para recuperar la inversión en los 50 años estimados.

4.3. Optimización del espesor de aislante. Reducción de emisiones contaminantes.

Un factor que también se debe incluir en un estudio de estas características son las consecuencias medioambientales del proyecto. La reducción de emisiones contaminantes es importante tanto por motivos económicos como por motivos de defensa del medio ambiente. Desde las normas impuestas en Kyoto, existen unos derechos de emisión de CO₂ a razón de una tonelada de CO₂ un derecho de emisión del mismo gas contaminante. Esta compra venta de emisiones contaminantes se gestiona desde una bolsa de negociación de derechos de emisión de dióxido de carbono. Este estudio tendrá en cuenta los precios de los derechos de emisión publicados en esta bolsa tomando una media para todo el año como precio medio. A lo largo del año, el gráfico 45 muestra la fluctuación de precios de los derechos de emisión desde el 3 de Enero de 2011 hasta el 3 de Octubre de 2011. A la vista de los datos proporcionados, el precio de la tonelada de CO₂, se establecerá en 14,159 €.

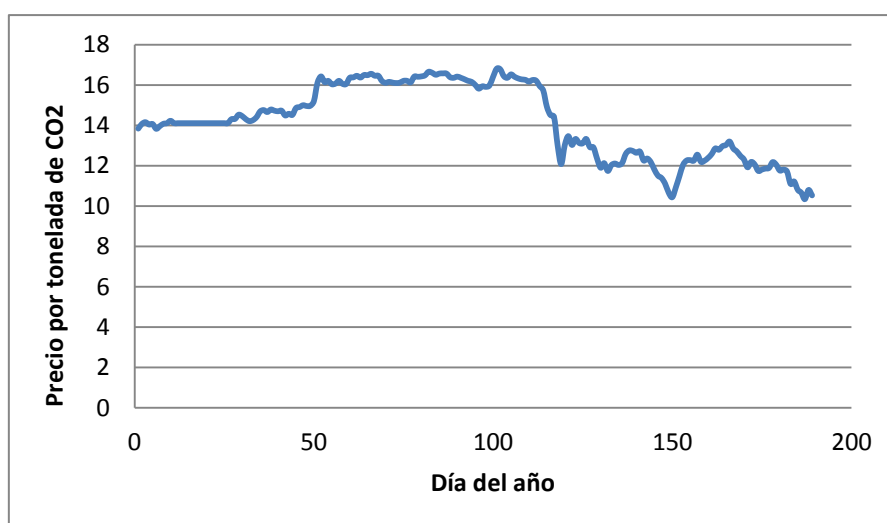


Gráfico 45. Evolución del precio de la tonelada de CO₂ durante el año 2011. [23]

Para el cálculo del ahorro en emisiones contaminantes se necesita también conocer cuántos kilogramos de gas contaminante se emiten por cada kilovatio hora consumido. De esta forma para la calefacción la información consultada muestra que el gas natural emite 0,2 kg de CO₂ por cada kWh. [24]. Para el caso de la electricidad utilizada para el funcionamiento del aparato de aire acondicionado se tomará 0,37 kg CO₂ por cada kWh_e, que aproximadamente acarrea unas pérdidas respecto al kWh de alrededor del 10%. [24].

El gráfico 46 muestra la evolución del precio por la emisión de CO₂ para los diferentes espesores estudiados. Se puede ver como existe una gran reducción en precio, debida a una gran reducción en la emisión de gases contaminantes en los primeros 7 centímetros de espesor. Pasados estos espesores, la reducción es mucho menor con lo que se puede concluir en una primera aproximación, que el espesor óptimo si se tienen en cuenta las emisiones contaminantes, no estará fuera del rango 1-7 cm.

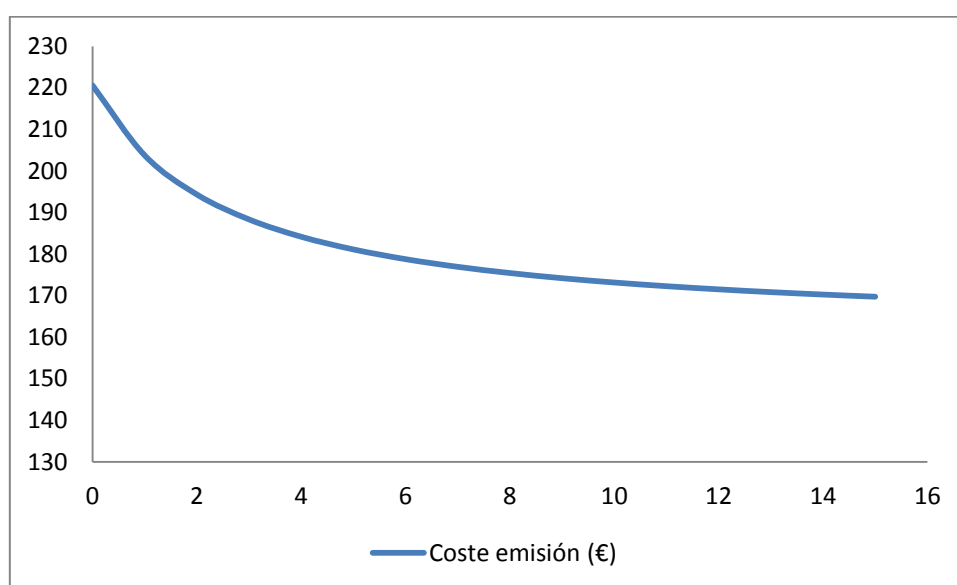


Gráfico 46. Evolución del coste de la emisión de CO₂ según el espesor de aislante instalado.

Para comprobar la importancia de la inclusión de este tipo de costes en un proyecto de climatización, se va estudiar por el método más económico, método 2, incluyendo en el estudio el coste de las emisiones para un interés moderado. Se podrá ver si existe realmente una influencia que nos llegue a priorizar, o a tener en cuenta de una forma considerable este tipo de costes, o simplemente se deberían realizar como una manera de protección del medio ambiente de forma que se intenten controlar las emisiones contaminantes.

Estudiando el margen en el que se encuentran mayores reducciones del precio, de 1 a 7 centímetros, se observa que el espesor óptimo que resulta si incluimos en el valor actual neto la diferencia del coste de las emisiones entre los 0 cm y el otro espesor, volvemos a obtener que el espesor óptimo en con este interés es de 5 centímetros, como ocurría cuando no incluíamos este coste. Esto no quiere decir que no tenga influencia en el estudio, sino que tiene la misma influencia prácticamente para los espesores que se han estudiado. Si observamos la tabla 11, podemos ver que el valor actual neto de la inversión a los 50 años es de 11745 €, mientras que teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ el valor actual neto aumenta hasta 12593,4 € alrededor de un 6,5% mayor, por lo que la inversión si se tuviera que

decidir atendiendo a su rentabilidad tendríamos que escoger la que tiene incluido el coste de las emisiones. De esta forma no solo se conseguirá un estudio más completo, sino que puede ocurrir que nos ponga en una mejor situación al ser más rentable y pueda ser una decisión más fácil de tomar.

5. CONCLUSIONES.

No son pocas las conclusiones que se pueden desprender de este proyecto de climatización de la vivienda. Con la situación energética que se ha explicado como parte de la introducción queda patente la necesidad de realizar estos estudios de viabilidad de proyectos de climatización. Estos estudios no deben hacerse solo a nivel teórico e ingenieril como parte de un proceso constructivo de la propia vivienda de forma que se puedan dimensionar los equipos que reporten un perfecto funcionamiento y un confort interior constante, que es para lo que realmente se diseñan. El estudio debe tener una vertiente económica y medioambiental, que no es menos importante que la mencionada con anterioridad.

Una de las conclusiones que se puede ver, quizá no tanto como lector del proyecto sino como autor, es como el código técnico de la edificación facilita la tarea de calcular las cargas térmicas de cualquier tipo de vivienda, ya que se exponen todos los cálculos necesarios para poder estar dentro de unos márgenes de climatización correcta, además de los legales para los que en otra parte está escrito. En el cálculo de cargas térmicas se ha seguido el código técnico de la edificación y se ha conseguido con los datos constructivos iniciales, llegar a resultados correctos, dentro de unos límites que la experiencia marca como válidos. La carga térmica de la vivienda, por otro lado, es un estudio primordial para cualquier vivienda, ya que muestra lo energéticamente correcta que es la vivienda, pudiendo así acometer cambios, como el que se estudió en los últimos apartados del espesor óptimo de aislante.

Una de las conclusiones que se pueden sacar del estudio de cargas térmicas es que por muy rentable que fuera construir con un espesor de aislante menor de 3 centímetros no se podría, ya que se incumpliría el valor límite de transmitancia en muros para la zona climática D3, que es donde se sitúa la vivienda, esos datos no son válidos, ya que por mucha rentabilidad que muestren, que por otro lado no es la mejor, no sería posible la construcción con ese espesor, ya que el estudio de cargas térmicas muestra que no se cumpliría el código técnico de la edificación, no sería correcto construir con esos espesores.

En el cálculo de la carga térmica en condiciones de calefacción se puede identificar como elemento por el que el calor sale en mayor cantidad al exterior como las ventanas. Por las ventanas se pierde en las condiciones de calefacción entre 0,4 y 1 kW diario aproximadamente en los 17,088 m² que ocupan. Si nos fijamos en el muro son más de 2 kW los que por el pasan, mayor que las ventanas, pero el área es 10 veces mayor al igual que el techo en el que las pérdidas de calor están entre 1 y 2 kW, pero también el techo tiene una superficie muchísimo mayor que las ventanas. Por ello se puede concluir que una mejora en las ventanas acarrearía una mejora global en la climatización del hogar ya que es poca superficie por la que se cede al exterior mucho calor.

De los tres aportes a la carga térmica global que se han utilizado en condiciones de calefacción, la carga térmica de transmisión y la carga térmica por ventilación han constituido alrededor de un 80% de la carga térmica total en este periodo, mientras que el 20% restante se debe a las infiltraciones, pudiendo concluir que estas infiltraciones, tienen menor importancia que los dos términos de transmisión y ventilación cuando los espesores de aislante son grandes (10 a 15 cm). En caso de que el espesor del aislante sea más pequeño (espesor real de la vivienda: 5 cm) las infiltraciones y ventilación no crecen, ya que en ningún momento dependen del aislante, pero la carga de transmisión aumentaría ligeramente al estar más protegida la vivienda contra el frío, de forma que en este tipo de carga térmica, con el espesor del aislante la única variación sería en la carga de transmisión, permaneciendo las otras prácticamente constante.

En el caso de las condiciones de refrigeración la primera observación que se puede hacer es que es menor la carga térmica que en las condiciones de calefacción. Esto puede explicarse por la diferencia de temperaturas existentes en los dos periodos, la diferencia de temperatura interior y exterior en el periodo de calefacción es mayor que en el periodo de refrigeración en la mayoría de los casos. En la carga térmica de transmisión en este periodo se puede observar que al igual que en la calefacción, las ventanas son un gran sumidero de calor para la poca superficie que ocupan y una mención especial se tiene que hacer en este caso a la carga térmica del suelo de la vivienda. Como se comentó a lo largo del proyecto, el garaje de la casa no se iba a climatizar, ya que en él no se hace vida. Por ello se tomaría en él una temperatura media entre la del suelo y la interior de la casa para poder tener una idea aproximada de cuál sería su temperatura de forma que se pudiera calcular la carga térmica en el suelo. En verano la temperatura del terreno son 7 grados centígrados y deja al garaje con una temperatura de 16,15 grados centígrados, que es menor que la temperatura interior de confort y por ello representa una ganancia en la refrigeración de la vivienda siendo su carga térmica negativa. A la luz de esto se puede concluir que terrenos con baja temperatura serán muy propicios a reducir los costes de climatización en el periodo de refrigeración del hogar, ya que la ganancia por este fenómeno es del orden de las pérdidas por las ventanas de toda la vivienda, por lo tanto es bastante considerable.

En el caso de las condiciones de climatización se tienen más componentes de la carga térmica que en calefacción. El mayor aporte lo proporciona la llamada carga interna. Esta carga interna se debe a la vida dentro de la vivienda, el funcionamiento de los equipos, iluminación y demás elementos que emiten calor al interior. Una vez calculado este aporte interno se puede decir que depende de lo que considere la persona que está haciendo el cálculo que va a estar encendido aportando calor en la vivienda. No puede ser exacto este cálculo porque no se sabe cuánto tiempo va a tener un electrodoméstico encendido el usuario de la vivienda, por lo que este aporte a la carga térmica global es una estimación de lo que sería un funcionamiento general de los electrodomésticos y aparatos de la vivienda, e influye bastante en la carga térmica global, por lo que no debe hacerse de una forma desproporcionada, sin pasarse y a la vez sin quedarse escaso.

La otra diferencia con las condiciones de calefacción es la carga térmica debida a radiación. Una vez obtenida la radiación incidente en las distintas orientaciones de la casa, siguiendo el código técnico de la edificación se ha calculado. Existe una gran diferencia en la

cantidad de calor que se gana por las distintas caras de la vivienda siendo la orientación norte la más pequeña y la orientación sur la mayor.

Respecto a los costes de climatización anuales se puede concluir que el coste de la calefacción es más del doble que refrigeración si tenemos en cuenta los cálculos para el espesor real de la vivienda. Esto es debido al consumo de energía de los diferentes equipos, ya que es proporcional y mayor en el periodo de calefacción que en el de refrigeración. Si se ve por porcentajes la calefacción sería el 62% de la energía consumida frente al 38% de la refrigeración, mientras que si se mira por precio el 68% será para cubrir el gasto de calefacción y el 32% para cubrir la refrigeración, pudiendo concluir que la energía necesaria para refrigerar es más barata que la necesaria para calefactar la vivienda.

Respecto al CO₂ emitido anualmente, que es el único contaminante que se ha estudiado, se ha obtenido que en las características de construcción de la vivienda se emitirán anualmente 12,79 toneladas de CO₂ a la atmósfera. Esta emisión de dióxido de carbono se podría reducir plantando árboles ya que la parcela en la que está construida la vivienda tiene espacio para un jardín. La reducción no sería demasiado cuantiosa ya que cada árbol sano mediano absorbe del orden de 6 a 10 kg de CO₂ dependiendo de la especie. [25]. Si se plantan 10 árboles que si tendrían espacio suficiente se reduciría en 100 kg la emisión de dióxido de carbono, por lo que por la plantación de cada diez árboles se reduciría la emisión del orden de un 1%, insuficiente si se quiere llegar a una reducción importante.

Respecto al estudio del espesor óptimo de aislante el primer método nos da un resultado que no es de aplicación real. Marca como espesor óptimo para la vivienda 3,45 cm, y como se ha comentado anteriormente con este espesor el proyecto no estaría dentro de las exigencias del código técnico de la edificación, ya que el coeficiente global de transferencia de calor sería superior al marcado como máximo en la zona climática que se encuentra la edificación. El valor tan bajo de espesor se ha dado por no tener en cuenta los intereses a lo largo de los años de amortización de la casa y por la sencillez del estudio en el que el punto óptimo se da cuando la recta que representa la inversión dependiendo del espesor corta con los costes de climatización (gráfico 37).

Cuando el estudio se ha realizado por métodos más económicos utilizando el valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad se han obtenido espesores más razonables y más cercanos a lo que la experiencia en este tipo de trabajos muestra. A medida que el interés aumentaba el espesor se hacía más pequeño, ya que con un interés del 7%, favorable, es más rentable tener el dinero en el banco a esa rentabilidad que invertir en el proyecto de climatización. Teniendo en cuenta el escenario más normal de los tres estudiados con un interés del 4%, el espesor que se ha obtenido como óptimo es el de 5 centímetros. Para un interés del 2% el espesor óptimo serían 6 centímetros, ya que al ser el interés tan bajo, el ahorro en calefacción sería más rentable. Como conclusión se puede decir que a medida que aumenta el interés disminuye el espesor óptimo de aislante como muestra el gráfico 47. Con las consideraciones anteriores se había concluido que un espesor inferior a 4 cm no estaría dentro de la legalidad, ya que violaría la norma de transmitancia máxima del código técnico de la edificación, por lo que otra conclusión es que con intereses superiores al 5% no tiene sentido instalar el espesor óptimo teniendo en cuenta únicamente el factor económico.

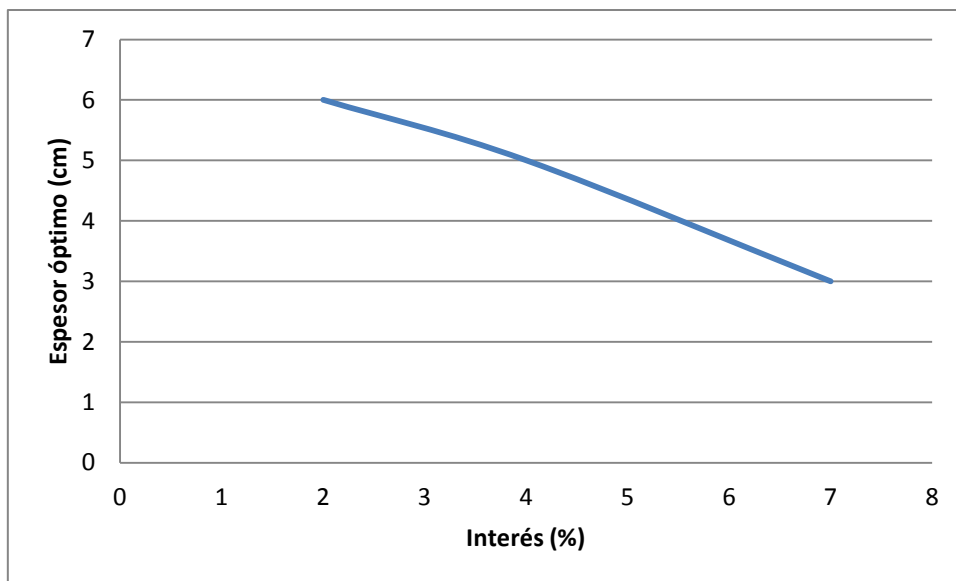


Gráfico 47. Espesor óptimo en función del interés.

En este rango de interés se apelará a otros factores de decisión de la inversión que no sean solo la rentabilidad del proyecto, se tendrán que tener en cuenta factores como el confort interior, el gasto en combustible y electricidad y sus emisiones asociadas, entre otros.

Del estudio de viabilidad del proyecto asociando los costes por la emisión de gases contaminantes realizado para un aislamiento en un entorno económico moderado, se ha obtenido que para una casa el pago por estos derechos de emisión no es un gasto importante, alrededor de 150 € para los espesores con los cuales la instalación tendría sentido, pero al añadir este gasto el valor actual neto aumentó para el espesor óptimo de 5 centímetros y sus aledaños y se redujo para los espesores que no tenían sentido, con lo que hace más sensata la decisión de tomar como espesor óptimo 5 centímetros.

6. REFERENCIAS.

- [1] *Memoria anual IDEA 2009, Madrid, 2009.*
- [2] *Informe del sistema eléctrico español, Madrid, 2010, Red Eléctrica de España.*
- [3] *Energía 2011, Madrid, 2011, Foro de la industria Nuclear Española.*
- [4] *Impacto ambiental global en el sector residencial, Morillón Gálvez, D., México, 2007, Universidad Nacional Autónoma de México.*
- [5] *Introduction to heat transfer, Incropera, Frank P., De Witt, David P., 4th edition, Canada, 2001.*
- [6] *Reglamento de instalaciones térmicas de edificios, Documento básico de ahorro de energía, Abril 2009.*
- [7] *Aplicaciones de termodinámica. Radiación térmica. Güemez, J., Universidad de Cantabria, Santander, 2003.*
- [8] *Catálogo SGG Climalit, Saint – Gobain Glass España, Madrid, 2011.*
- [9] *Prontuario de la construcción, Fernández Ortega, L., Madrid, 2006.*
- [10] *Catálogo Hörmann. Puerta de garaje enrollable Rollmatic, 2011.*
- [11] *Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 8.*
- [12] *Agencia estatal de meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, www.aemet.es*
- [13] *Datos de temperatura exterior y humedad relativa para Madrid, Universidad Carlos III de Madrid.*
- [14] *Código Técnico de la edificación, DB HS: Salubridad. Caudal del aire interior. Caracterización y cuantificación de las exigencias, 2009.*
- [15] *Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 7, Tabla I, ganancias debidas a los ocupantes.*
- [16] *www.earthtools.org*
- [17] *Principles of solar engineering, Goswami, Y., Kreith, F., Kreider, J.F., Philadelphia, 1999.*
- [18] *Apuntes de clase: Energías renovables, Tema 5, Radiación solar.*
- [19] *Reglamento de instalaciones térmicas de edificios, Documento básico de ahorro de energía, Abril 2009, Tabla E10.*
- [20] *Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009, Página I.28, Tabla 2.*
- [21] *Factura de electricidad, Gas Natural Fenosa, Septiembre 2011.*

[22] *Información básica de los sectores de la energía*, CNE, 1999, página 85.

[23] www.sendeco2.com

[24] *Informe Sirena 10*, Universidad Politécnica de Cataluña, Mayo 2011.

[25] *Los sumideros naturales de CO₂: Una estrategia sostenible en el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial*, Figueroa Clemente, E., Redondo Gómez, S, Sevilla, 2007.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Memoria anual IDEA 2009, Madrid, 2009.
- Informe del sistema eléctrico español, Madrid, 2010, Red Eléctrica de España.
- Energía 2011, Madrid, 2011, Foro de la industria Nuclear Española.
- Impacto ambiental global en el sector residencial, Morillón Gálvez, D., México, 2007, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Introduction to heat transfer, Incropera, Frank P., De Witt, David P., 4th edition, Canada, 2001.
- Reglamento de instalaciones térmicas de edificios, Documento básico de ahorro de energía, Abril 2009.
- Aplicaciones de termodinámica. Radiación térmica. Güemez, J., Universidad de Cantabria, Santander, 2003.
- Catálogo SGG Climalit, Saint – Gobain Glass España, Madrid, 2011.
- Prontuario de la construcción, Fernández Ortega, L., Madrid, 2006.
- Catálogo Hörmann. Puerta de garaje enrollable Rollmatic, 2011.
- Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009.
- www.earthtools.org
- Principles of solar engineering, Goswami, Y., Kreith, F., Kreider, J.F., Philadelphia, 1999.
- Apuntes de clase: Energías renovables, Tema 5, Radiación solar.
- Información básica de los sectores de la energía, CNE, 1999, página 85.
- www.sendeco2.com
- Informe Sirena 10, Universidad Politécnica de Cataluña, Mayo 2011.
- Los sumideros naturales de CO₂: Una estrategia sostenible en el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial, Figueroa Clemente, E., Redondo Gómez, S, Sevilla, 2007.
- Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas, Alonso Abella, M., 2ª edición, Madrid, Publicaciones técnicas, 2005.
- Dirección financiera: decisiones de inversión, Gava, L., Ropero, E., Serna, G., Ubierna, A., Editorial Delta, 2008.

8. ANEXOS

ANEXO I. PROPIEDADES DEL AIRE Y AGUA Y LOCALIZACIÓN DEL EDIFICIO.

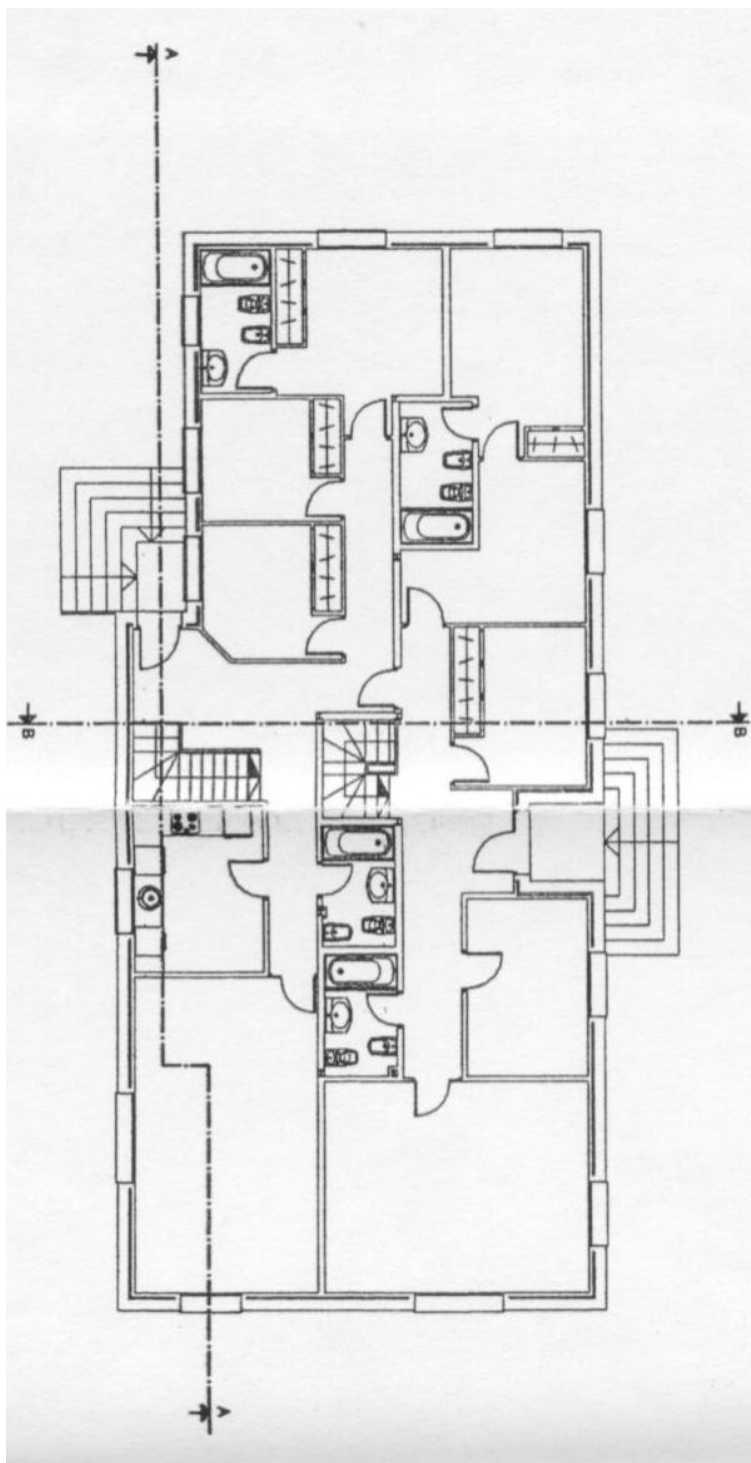
El edificio se encuentra situado en el término municipal de la localidad Sevilla la Nueva, en la Comunidad de Madrid. Las coordenadas de la vivienda son longitud -4.002 grados y latitud 40.035 grados.

Las propiedades que se han utilizado para llevar a cabo todos los cálculos del proyecto son las siguientes:

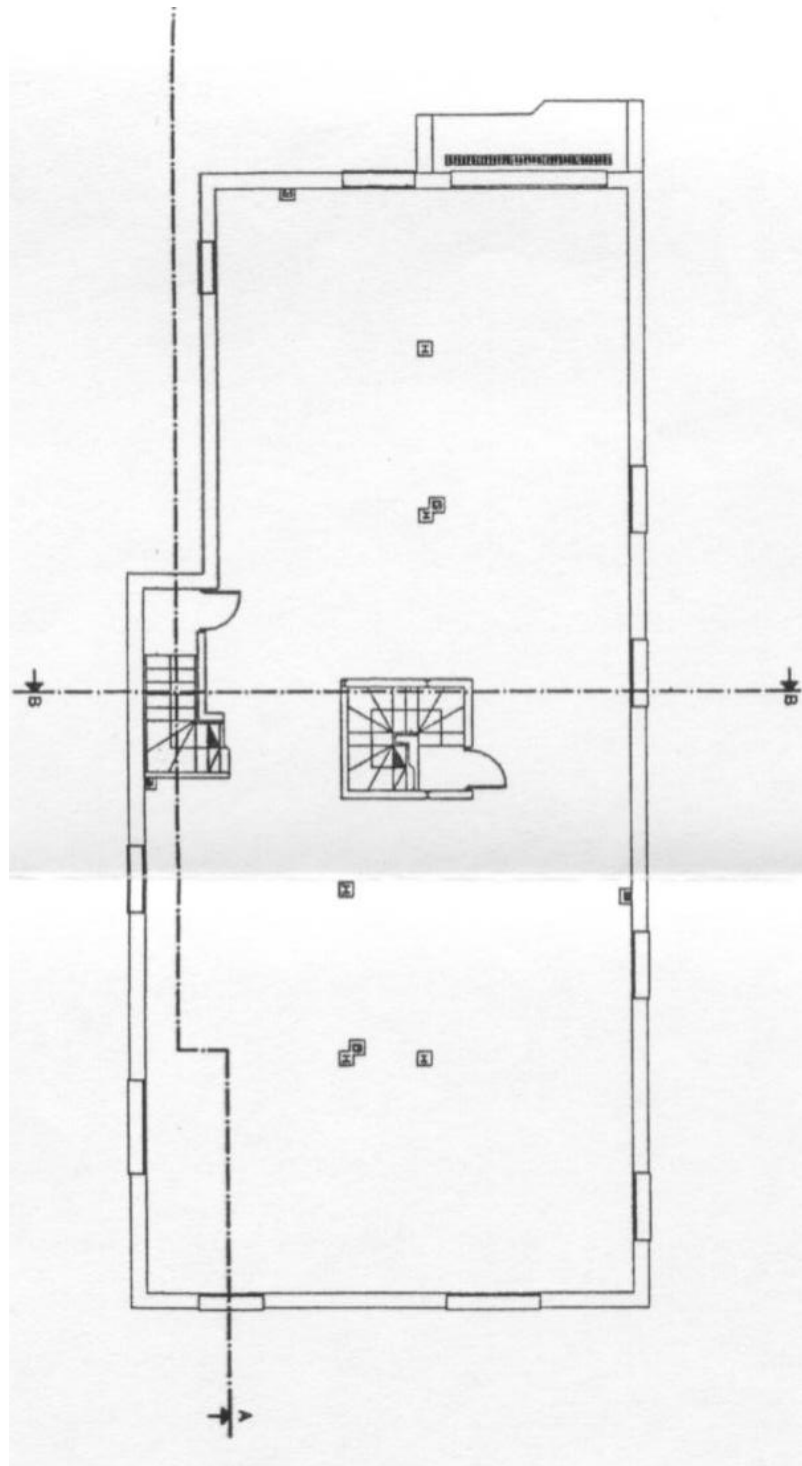
- Densidad del aire: $\rho_a = 1,2 \frac{kg}{m^3}$
- Calor específico del aire: $Cp_a = 1000 \frac{J}{kg K}$
- Entalpía de vaporización del agua: $h_{fg} = 2257 \frac{kJ}{kg}$
- Presión atmosférica: $P_{atm} = 101325 Pa$

ANEXO II. PLANOS DE LA VIVIENDA.

1. Primera planta, planta de climatización.

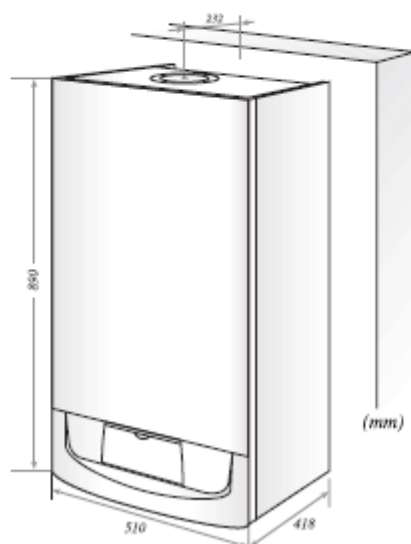


2. Planta baja



Características Técnicas

Características generales		ISOFAST C 35	ISOFAST F 30	ISOFAST F 35
Encendido		II2H3P		
Calefacción				
Potencia Térmica máx.	kW	38,4	32,6	38
Rdto. combustión potencia máx.	%	92	92,6	92,5
Potencia útil	kW	De 11,7 a 34,6	De 5 a 29,6	De 6 a 34,6
Rdto. s/PO a potencia útil máx.	%	90	92 (Cte)	92 (Cte)
Temperatura ida	°C	De 38 a 87		
Tipo regulación		Modulante autoadaptativa		
Vaso expansión: capacidad útil	L	12	7	12
Capacidad máx. instalación	L	275	160	275
Presión máx. servicio	bar	3		
Agua Caliente Sanitaria				
Potencia útil	kW	De 11,7 a 34,6	De 10,9 a 29,6	De 12,2 a 34,6
Tipo regulación		Modulante		
Temperatura salida ACS	°C	De 38 a 60		
Caudal específico (ΔT=25°C)	L/min	19,8	16,9	19,8
Caudal mín. funcionamiento	L/min	1		
Presión mín. alimentación	bar	0,7		
Presión máx. apertura válvula seguridad	bar	10		
Confort ACS s/PrEN13203			***	
Evacuación de humos				
Longitud máx. horizontal C12 60/100	m	-	3,5	2
Longitud máx. vertical C32 80/125	m	-	11	4,5
Longitud máx. horizontal colectivo C42 60/100	m	-	3,5	2
Longitud máx. doble flujo C52/C53 80/80	m	-	2x15	2x9,5
Circuito Eléctrico				
Protección eléctrica			IPX4D	
Consumo máx.	W	160	225	230
Tensión alimentación	V	230		



ISOFAST C 35
Peso neto: 47 kg
Peso bruto: 52 kg

ISOFAST F 30
Peso neto: 44 kg
Peso bruto: 48 kg

ISOFAST F 35
Peso neto: 50 kg
Peso bruto: 54 kg

ANEXO IV. EQUIPO DE REFRIGERACIÓN.

CONFORT EN LA PUNTA DE SUS DEDOS

MASTER LINK II:

El controlador electrónico inteligente Master Link II, permite un funcionamiento óptimo de la máquina mediante el control de todos los parámetros de funcionamiento. Via PC se accede remotamente a los parámetros de funcionamiento (Herramienta Avanzada de Servicio Master Link II). Por la observación de simples pilotos se puede conocer el funcionamiento de la Unidad.



CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS HOY Y MAÑANA

Para proteger el medio ambiente y en previsión de futuros reglamentos internacionales, los acondicionadores de aire incorporan refrigerante ecológico "R-407c".

► Modelos "Solo Frio"	50TZ024	50TZ036	50TZ042	50TZ048	50TZ060	50TZ072	50TZ084	
Capacidad total Frio	kW	6,5	9,11	10,50	12,00	14,80	19,10	22,74
Consumo nominal Frio	kW	2,9	3,99	4,68	5,07	7,37	10,08	10,75
E.E.R. Efectivo (*)	kW/kW	2,24	2,28	2,31	2,43	2,13	2,03	2,28
► Modelos "Bomba de Calor"	50YZ024	50YZ036	50YZ042	50YZ048	50YZ060	50YZ072	50YZ084	
Capacidad total Frio	kW	6,2	8,9	10,10	11,56	14,34	19,10	22,20
Consumo nominal Frio	kW	2,74	4,2	4,7	5,04	7,57	10,10	10,92
E.E.R. Efectivo (*)	kW/kW	2,17	2,17	2,21	2,36	2,00	2,03	2,18
Capacidad total Calor	kW	6,52	9,5	11,3	12,5	16,84	21,8	25,00
Consumo nominal Calor	kW	2,35	3,51	4,00	4,55	6,97	9,07	9,58
C.O.P. Efectivo (*)	kW/kW	2,77	2,79	2,93	2,83	2,57	2,60	2,83
► Unidad Climatizadora (Frio=F/Bomba=B)	40BZ024(F/B)	40BZ036(F/B)	40BZ042(F/B)	40BZ048(F/B)	40BZ060(F/B)	40BZ072(F/B)	40BZ084(F/B)	
Dehumidificación	l/h	2,7	2,7	3,2	4,5	4,9	5,7	6,6
Caudal Aire Nominal	l/s	400	565	670	670	950	1320	1365
Presión estática (Bat. seca-Hum.)	Pa	50-40	60-50	60-50	60-50	90-80	120-110	120-110
Presión Sonora (Alt./Med./Baj)	Db(A)	43/43/47	39/42/48	42/46/49	43/46/49	48/50/51	52	52
Potencia Sonora (Alt./Med./Baj)	Db(A)	59/59/63	55/58/64	58/62/65	59/62/65	64/66/67	68	68
Dimensiones (AxLxP)	mm	470x1140x484	540x1200x494	540x1300x544	540x1400x544	560x1450x544	630x1650x700	630x1650x700
Peso	Kg	58	63	71	76	87	116	120
Tensión Alimentación	V-Ph-Hz	230-1-50	230-1-50	230-1-50	230-1-50	230-1-30	400-3-50	400-3-50
► Matracónsadora (Frio)	38FZ024	38FZ036	38FZ042	38FZ048	38FZ060	38FZ072	38FZ084	
► Matracónsadora (Bomba)	38BZ024	38BZ036	38BZ042	38BZ048	38BZ060	38BZ072	38BZ084	
Presión estática (Batería Seca)	Pa	30	30	30	40	50	50	50
Tipo Compresor	Cont	Alternativas Homérficas - 1						
Presión Sonora	Db(A)	44	46	53	53	55	56	51
Potencia Sonora	Db(A)	60	62	69	69	71	72	67
Dimensiones (AxLxP)	mm	470x1140x650	540x1200x700	540x1300x750	540x1400x850	560x1450x900	630x1650x944	630x1650x1124
Peso (Frio/Bomba)	Kg	110/112	130/133	140/143	165/168	180/183	213/216	261/265
Conex. Líneas Refrig. Asp./Liq.	Pulg.	5/8"-3/8"	3/4"-3/8"	3/4"-3/8"	7/8"-3/8"	7/8"-3/8"	1 1/8"-5/8"	1 1/8"-5/8"
Tensión Alimentación	V-Ph-Hz	230-1-50	230-1-50	400-3-50	400-3-50	400-3-50	400-3-50	400-3-50

Funcionamiento en Frio: Aire interior a 27°C T.S. y 19°C T.H. Aire exterior a 35°C y 24°C T.H.
Funcionamiento en Bomba: Aire interior a 20°C T.S. y 15°C T.H. Aire exterior a 7°C T.S. y 9°C T.H.
(*) E.E.R. y C.O.P. = Capacidad (kW) / Consumo Efectivo Unidad (kW).

Otras características

- Ventilador de tres velocidades (excepto en tamaños 072 y 084)
- Tornillos invisibles
- Baterías con aletas de aluminio azul pretratado
- Filtro de Aire M1
- Paneles aislados acústicamente
- Bandejas de condensados inclinadas para facilitar el drenaje
- Unidades conectables a Sistema Comfort Zone II

Opcionales / Accesorios

- Batería de agua caliente
- Batería eléctrica de calor
- Herramienta Básica y Avanzada de Servicio para Master Link II
- Termostatos Programable y No-Programable
- Calentador de cartón en compresor (estándar en Unidades Bomba)
- Control presión de condensación
- Filtro de aire para batería de exterior



Nº Pedido: 85043-20 04/2002
Anula y reemplaza: Nº nuevo
El fabricante se reserva el derecho de hacer cualquier modificación sin previo aviso.
Impreso en Italia.

CARRIER España, s.l.
www.carrier.es
carrier-es@carrier.utc.com



A member of the United Technologies Corporation family

